



**SKRIPSI – TK141581**

**PEMANFAATAN DEC SEBAGAI AGEN PENINGKAT  
PERFORMA PEMBAKARAN GASOLINE DAN AGEN  
PENURUN TEKANAN UAP LIGHT NAPHTHA**

**Oleh:**

**JOY DERYL LU**

**NRP 02211440000093**

**KOMANG AGUS RAVEY GAUTAMA**

**NRP 02211440000128**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng**

**NIP. 1963 01 22 1987 01 1001**

**Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.**

**NIP. 1991 01 10 2015 04 2002**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2018**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**UTILIZATION OF DIETHYL CARBONATE AS  
GASOLINE ADDITIVE TO INCREASE GASOLINE  
COMBUSTION PERFORMANCE AND LIGHT NAPHTHA  
VAPOR PRESSURE DECREASING AGENT**

**Written By:**

**JOY DERYL LU**

**NRP 02211440000093**

**KOMANG AGUS RAVEY GAUTAMA**

**NRP 02211440000128**

**Advisors:**

**Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng**

**NIP. 1963 01 22 1987 01 1001**

**Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.**

**NIP. 1991 01 10 2015 04 2002**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Skripsi dengan judul:

**-PEMANFAATAN DEC SEBAGAI AGEN PENINGKAT  
PERFORMA PEMBAKARAN GASOLINE DAN AGEN  
PENURUN TEKANAN UAP LIGHT NAPHTHA"**

Dijadikan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik  
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Jay Deryl Lu

NRP 02211440000093

Komang Agus Ravey Gautama

NRP 02211440000128

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                     |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng | ..... (Pembimbing I)  |
| 2. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T     | ..... (Pembimbing II) |
| 3. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA      | ..... (Penguji I)     |
| 4. Annas Wiguno, S.T., M.T          | ..... (Penguji II)    |
| 5. Prada Novarita I., S.T., M.T     | ..... (Penguji III)   |



# **Pemanfaatan DEC sebagai Agen Peningkat Performa Pembakaran Gasoline dan Agen Penurun Tekanan Uap Light Naphtha**

Nama Mahasiswa 1 : Joy Deryl Lu  
NRP : 02211440000093  
Nama Mahasiswa 2 : Komang Agus Ravey Gautama  
NRP : 02211440000128  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng  
Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *Diethyl Carbonate* (DEC) sebagai agen peningkat performa pembakaran gasoline dan agen penurun tekanan uap light naphtha. Eksperimen pengukuran tekanan uap campuran *light naphtha* + DEC dilakukan dengan menggunakan ebulliometer sederhana yang dikembangkan oleh Oktavian et al, (2013) yang kemudian divalidasi oleh Wibawa et al (2015). Sedangkan eksperiment uji performa pembakaran dilakukan menggunakan mesin motor Honda CB150R dengan putaran dan campuran bahan bakar yang bervariasi, sedangkan untuk mengetahui kadar emisi gas buang hasil pembakaran dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer*. Validasi alat ebulliometer dilakukan dengan membandingkan data tekanan uap DEC, aseton dan etanol murni hasil eksperimen dengan data literatur. Data percobaan tekanan uap didapatkan dengan pengukuran secara isothermal dimana variable percobaan yang digunakan adalah fraksi volume campuran *light naphtha* + DEC dan variabel suhu. Pada eksperimen uji performa pembakaran campuran bahan bakar *gasoline* + DEC, variable yang digunakan adalah komposisi campuran pertamax, DEC, dan additive pembanding yang lain (DMC dan Etanol) serta variasi putaran mesin (RPM). Berdasarkan hasil percobaan didapatkan campuran *light naphtha* +DEC yang paling efektif adalah campuran *light naphtha* + DEC 26%vol yang didasarkan pada nilai tekanan uap dan RON campuran. Sedangkan untuk percobaan uji performa pembakaran didapatkan komposisi paling efektif adalah campuran pertamax + 10% DEC (DEC10) dilihat dari hasil kadar emisi (CO dan HC), konsumsi bahan bakar dan laju udara masuk untuk pembakaran.

**Kata Kunci:** Performa pembakaran; Dietil karbonat; *gasoline*; tekanan uap; *ebulliometer*; *light naphtha*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

***Utilization of Diethyl Carbonate as Gasoline Additive to increase  
Gasoline Combustion Performance and Light Naphtha Vapor  
Pressure Decreasing Agent***

Name 1 : Joy Deryl Lu  
NRP : 02211440000093  
Name 2 : Komang Agus Ravey Gautama  
NRP : 02211440000128  
Advisor : Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng  
Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*The objective of this research is to utilize DEC as additive to increase gasoline combustion performance and light naphtha vapor pressure decreasing agent. Vapor pressure measurement experiment from binary mixture light naphtha + DEC was done by using ebulliometer which is developed by Oktavian, et al (2013) which has been validated by Wibawa et al (2015). While combustion performance test was done by using Honda CB150-R engine with variation of speed and composition and then using gas analyzer to analyze the composition of emitted gas. Ebulliometer apparatus was validated by comparing vapor pressure experiment data of ethanol, acetone dan DEC with calculation data from literature. Data from the experiment are validated by using vapor pressure properties of pure DEC, DMC and Ethanol by using ebulliometer. Vapor pressure data gathered by isothermal measurement vapor pressure measurement. Variables in this experiment consist of light naphtha and DEC for various composition and temperature. For combustion experiment, experiment data is gathered by combusting variables consist of various composition of Pertamina, DEC, and other comparative additives (DMC, ethanol) and variation of engine speed (RPM). Based on experimental data, mixture of Light Naphtha + DEC 26%vol give the most effective result based on the value of vapor pressure and RON of the mixture. While for gasoline combustion performance experiment, the most effective results were achieved on the combustion of 10%vol DEC + gasoline composition based on emission levels (CO and HC), fuel consumption and air intake rate for combustion.*

**Key Word:** *Combustion performance; Diethyl carbonate; gasoline; vapor pressure; ebulliometer; light naphtha*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# DAFTAR ISI

## LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii

## BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	6
I.3 Tujuan Penelitian .....	7
I.4 Manfaat Penelitian .....	7

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Penelitian .....	9
II.2 Gasoline .....	11
II.3 Dimethyl Carbonate (DMC) .....	15
II.4 Diethyl Carbonate (DEC) .....	16
II.5 Etanol .....	17
II.6 Aseton .....	18
II.7 Pertamina .....	19
II.8 <i>Light Naphtha</i> .....	20
II.9 Keseimbangan Uap Cair (VLE) .....	21
II.10 Pengukuran Tekanan Uap Campuran .....	25
II.11 Persamaan-Persamaan Koefisien Aktivitas .....	26
II.11.1 Persamaan Wilson .....	26
II.11.2 Persamaan NRTL .....	28
II.11.3 Persamaan Regular Solution Hildebrand and Scatchard .....	30
II.12 Performa Bakar Mesin ( <i>SI Engine</i> ) .....	33
II.13 Emisi Gas Buang .....	38
II.14 Metode Solver .....	44



## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

III.1 Deskripsi Penelitian .....	47
III.1.1 Pemanfaatan DEC Sebagai Agen Penurun Tekanan Uap <i>Light Naphtha</i> .....	48
III.1.2 Pemanfaatan DEC sebagai peningkat Performa pembakaran <i>Gasoline</i> .....	49
III.2 Peralatan Eksperimen .....	50
III.2.1 Peralatan Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	50
III.2.2 Peralatan Eksperimen Uji Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar <i>Gasoline</i> + DEC .....	51
III.2.3 Peralatan Eksperimen Pengukuran Bilangan Oktan Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	54
III.3 Bahan Eksperimen .....	55
III.4 Variabel Eksperimen .....	55
III.5 Prosedur Eksperimen .....	58
III.5.1 Prosedur Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	58
III.5.2 Prosedur Eksperimen Uji Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar <i>Gasoline</i> + DEC .....	59
III.5.3 Prosedur Eksperimen Pengukuran Bilangan Oktan Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	64
III.6 Data Treatment Peralatan Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	65
III.7 Estimasi Ketidakpastian pada Eksperimen .....	66

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **IV.1 Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran**

*Light Naphtha* + DEC.....67

IV.1.1 Validasi Alat.....67

IV.1.2 Data Eksperimen Pengukuran

Tekanan Uap Sistem Biner

*Light Naphtha* (1) + DEC (2) .....71

IV.1.3 Analisa Pseudo-Biner.....74

IV.1.4 Octane Number .....86

IV.1.5 Performa DEC pada Campuran

Sistem *Light Naphtha* (1) +

DEC (2).....89

### **IV.2 Eksperimen Uji Performa Pembakaran**

*Blending* Pertamina + DEC.....90

IV.2.1 Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) ...90

IV.2.2 Emisi HC (hidrokarbon) .....96

IV.2.3 Pemakaian Bahan Bakar .....103

IV.2.4 Pemakaian Udara untuk

Pembakaran .....108

IV.2.5 Performa Pembakaran Secara

Keseluruhan.....110

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....113**

V.1 Kesimpulan.....113

V.2 Saran .....114

**DAFTAR PUSTAKA** .....xv

**DAFTAR NOTASI**.....xxiii

**APPENDIKS**.....A-1

**LAMPIRAN**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Tuhan YME karena berkat Rahmat dan karunia-Nya yang telah memberi segala kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini yang berjudul **"Pemanfaatan DEC Sebagai Zat Aditif Gasoline dan Agen Penurun Tekanan Uap Light Naphtha"** yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan Skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Juwari S.T. M.Eng.,Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng dan Ibu Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas support, bimbingan dan saran yang diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA dan Bapak Annas Wiguno, S.T., M.T. selaku dosen di Laboratorium Termodinamika.
4. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
5. Mas Rendra Panca Anugraha, S.T selaku mahasiswa pasca sarjana di Laboratorium Termodinamika atas arahan dan masukan yang diberikan selama penyusunan laporan skripsi ini.
6. Orang tua dan saudara-saudara yang selalu mendukung dan mendoakan kami.
7. Teman – teman K54 yang senantiasa mendampingi dan mendukung kelancaran studi di kampus Teknik Kimia FTI-ITS.

8. Teman-teman di Laboratorium Thermodinamika yang selalu memberikan dukungan selama mengerjakan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah membantu selama proses studi dan penyelesaian skripsi yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapat balasan dari Tuhan YME. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penyusun

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Proses Penghasilan Kerja pada piston mesin bakar (SI Engine).....	35
<b>Gambar 2.2</b> Mekanisme pembentukan polutan HC dan CO pada mesin bakar .....	39
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian Keseluruhan .....	47
<b>Gambar 3.2</b> Skema Alat Ebuliometer .....	51
<b>Gambar 3.3</b> Skema proses pengujian motor Honda CB150R.....	52
<b>Gambar 3.4</b> Skema alat uji motor Honda CB150R.....	53
<b>Gambar 3.5</b> Alat Uji KOEHLER K88600 .....	54
<b>Gambar 4.1</b> Perbandingan Tekanan Uap Murni Hasil Eksperimen Etanol (●), Aseton (▲), DEC (■) ; <i>Light Naphtha</i> (◆) dengan Data Literatur Etanol (—) ; Aseton (---) ; DEC (····) ; <i>Light Naphtha</i> (---).....	70
<b>Gambar 4.2</b> Grafik P-T untuk Sistem Biner <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) pada $x_{v1} = 1$ (■) ; $x_{v1} = 0.7$ (●) ; $x_{v1} = 0.5$ (▲). Hasil Perhitungan dengan Model Wilson (—) NRTL (----) ; Hildebrand and Scatchard (---).....	73
<b>Gambar 4.3</b> Grafik P- $x_{v1}$ Sistem <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) pada suhu 303.15 K (●) dan 318.15 K (■). Perhitungan Menggunakan Model Wilson (—) ; NRTL (----) ; Hildebrand and Scatchard (---) .....	79
<b>Gambar 4.4</b> Grafik P- $x_1$ , $y_1$ untuk Sistem <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) : Data Eksperiment pada pada 303.15 K (●) ; 308.15 K (▲) ; 313.15 K (◆) dan 318.15 K (■) ; Perhitungan Menggunakan Persamaan Wilson (—) ; NRTL (----) ; Hildebrand and Scatchard (····).....	85

<b>Gambar 4.5</b>	Grafik RON dan MON Terhadap % Volume DEC Sistem <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2).....	86
<b>Gambar 4.6</b>	Persentase Pengurangan Emisi CO (% volume) Untuk Setiap Campuran Bahan Bakar .....	93
<b>Gambar 4.7</b>	Efek dari penambahan <i>oxygenate additive</i> terhadap emisi CO pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC ; (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi dan berbagai kecepatan mesin.....	94
<b>Gambar 4.8</b>	Persentase Pengurangan Emisi HC (ppmv) Untuk Setiap Campuran Bahan Bakar.....	99
<b>Gambar 4.9</b>	Efek dari penambahan <i>oxygenate additive</i> terhadap emisi HC pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi dan berbagai kecepatan mesin.....	100
<b>Gambar 4.10</b>	Hubungan pemakaian bahan bakar dan kecepatan mesin pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC ; (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi.....	105
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik hubungan kecepatan mesin, pemakaian bahan bakar serta intake air flow pada campuran bahan bakar DEC5.....	109

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Properti <i>Dimethyl Carbonate</i> .....	15
<b>Tabel 2.2</b> Properti <i>Diethyl Carbonate</i> .....	17
<b>Tabel 2.3</b> Properti Etanol .....	18
<b>Tabel 2.4</b> Properti Aseton .....	19
<b>Tabel 2.5</b> Properti Pertamax .....	20
<b>Tabel 2.6</b> Properti <i>Light Naphtha</i> .....	21
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran <i>Light Naphtha</i> + DEC .....	55
<b>Tabel 3.2</b> Variabel Eksperimen Uji Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar Gasoline + DEC .....	57
<b>Tabel 4.1</b> Konstanta untuk Perhitungan Tekanan Uap Etanol, Aseton dan DEC .....	68
<b>Tabel 4.2</b> Tekanan Uap Murni Etanol, Aseton, dan DEC.....	69
<b>Tabel 4.3</b> Data Eksperimen Tekanan Uap Sistem <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2).....	72
<b>Tabel 4.4</b> Parameter Antoine <i>Light Naphtha</i> .....	75
<b>Tabel 4.5</b> Parameter dan Hasil Korelasi Model Wilson, NRTL, Regular Solution pada Sistem Biner <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) .....	78
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Perhitungan dengan Model Wilson Sistem Biner <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) .....	81
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Perhitungan dengan Model NRTL Sistem Biner <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2) .....	82
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Perhitungan dengan Model Regular Solution Sistem Biner <i>Light Naphtha</i> (1) + DEC (2).....	83
<b>Tabel 4.9</b> Antiknocking Index Campuran Sistem <i>Light Naphtha</i> + DEC.....	87
<b>Tabel 4.10</b> Emisi CO Hasil Pengujian Berbagai Campuran Bahan Bakar (% vol).....	91
<b>Tabel 4.11</b> Persentase Pengurangan Emisi CO Pada Berbagai Campuran Bahan Bakar.....	92



<b>Tabel 4.12</b>	Emisi HC Hasil Pengujian Pada Berbagai Campuran Bahan Bakar.....	97
<b>Tabel 4.13</b>	Pengurangan Emisi HC Pada Berbagai Campuran Bahan Bakar .....	98
<b>Tabel 4.14</b>	Pemakaian Bahan Bakar Berbagai Campuran Bahan Bakar (ml/s).....	103
<b>Tabel 4.15</b>	Data Kalor Pembakaran Senyawa Murni.....	106
<b>Tabel 4.16</b>	Data Persentase Selisih Pemakaian Bahan Bakar...	107
<b>Tabel 4.17</b>	Pemakaian udara pada berbagai campuran bahan bakar ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).....	108
<b>Tabel 4.18</b>	Data Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar pada 6000 RPM.....	110

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Bahan bakar minyak berbasis energi fosil merupakan salah satu energi yang kebutuhannya terus mengikuti perkembangan sektor pembangunan khususnya sektor transportasi dan industri yang saat ini semakin pesat. Pada skenario dasar, selama kurun waktu 2012-2025, kebutuhan minyak mentah meningkat dengan pertumbuhan rata-rata 2.4% per tahun sedangkan pada skenario tinggi kebutuhan meningkat dengan laju pertumbuhan 3.2% per tahun (Sugiyono, 2014).

Seiring dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil, polusi yang disebabkan sisa hasil pembakaran bahan bakar fosil juga meningkat. Polusi ini disebabkan oleh pembakaran yang kurang sempurna yang kemudian mengemisikan senyawa hidrokarbon, CO, NO<sub>x</sub>, dan partikel solid lainnya ke udara (Kadarohman, 2003). Karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari suatu senyawa karbon, merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berasa. Gas CO apabila bercampur dengan hemoglobin dalam darah dapat mengurangi aliran oksigen ke seluruh tubuh, menyebabkan kerusakan pada otak dan kerusakan serius pada jantung. Gas NO<sub>x</sub> (nitrogen oksida) jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna

dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau *smog* kabut berwarna coklat kemerahan. Sedangkan emisi dari hidrokarbon dapat menyebabkan leukemia dan kanker (Ramadhana, 2008).

Langkah-langkah yang tengah diupayakan untuk mengatasi masalah mulai dari pencarian bahan bakar terbarukan (*renewable fuel*) hingga pemakaian *oxygenated compound* yang ramah lingkungan dan memiliki kandungan oktan lebih tinggi. *Oxygenated compound* merupakan bahan aditif yang ditambahkan ke dalam bahan bakar untuk menaikkan kualitas pembakaran dari bahan bakar tersebut. *Oxygenated compound* yang umum digunakan mulai dari *Tetra Ethyl Lead* (TEL), *Methyl tert-Butyl Ether* (MTBE), dan *High Octane Mogas Componen* (HOMC). Namun setelah dipakai beberapa waktu, para peneliti menemukan kelemahan TEL yaitu dapat menimbulkan emisi bahan bakar yang dapat membahayakan kesehatan manusia. MTBE merupakan *fuel additive* yang paling sering digunakan sebagai *oxygenated compound*. Namun MTBE terbukti kurang ramah lingkungan karena dapat mencemari air tanah dan tidak dapat terbiodegradasi langsung (Stephenson, 2002). Sehingga penelitian untuk menemukan *fuel additive* baru yang lebih ramah lingkungan banyak dilakukan di berbagai belahan dunia.

Dietil karbonat (DEC) merupakan salah satu *fuel additive* yang mulai mendapat perhatian. DEC memiliki kandungan oksigen

lebih tinggi dibandingkan MTBE, yaitu 40,6% (dibandingkan MTBE 18,2%) (Wang *et al.*, 2007). *Engine Test* menunjukkan bahwa DEC dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga mencapai 50% ketika mesin bekerja pada beban maksimalnya. Pada beban normal, emisi dapat berkurang hingga 30% (Roh *et al.*, 2003). Selain mengurangi emisi dari CO<sub>2</sub>, DEC juga dapat mengurangi emisi dari gas berbahaya dari CO dan NO<sub>x</sub>, sehingga menghasilkan udara pembakaran yang lebih ramah lingkungan. Koefisien distribusi pada gasoline/air pada DEC lebih baik dibandingkan dengan Dimetil Karbonat (DMC) dan etanol. Hal ini menyebabkan DEC dapat terlarut secara langsung dengan bahan bakar dan tidak membentuk fase yang terpisah. Selain itu, DEC juga lebih mudah terbiodegradasi. Properti ini menjadikan DEC sebagai *fuel additive* alternatif yang menjanjikan (Wang *et al.*, 2007).

Selain meningkatkan efisiensi pembakaran *gasoline*, DEC juga diketahui dapat menurunkan tekanan uap dari suatu bahan bakar. Tekanan uap adalah salah satu sifat termodinamika yang paling penting yang mencerminkan volatilitas (Chang *et al.*, 2013). Tekanan uap dari suatu jenis bahan bakar merupakan hal yang sangat penting pada mesin karena mempengaruhi terjadinya *vapor lock* (ASTM International, 2014). *Vapor lock* adalah masalah yang terjadi ketika gasolin yang seharusnya masih dalam fase liquid berubah fase menjadi gas pada sistem transfer bahan bakar di dalam mesin. Oleh karena itu tekanan uap yang tinggi

meningkatkan kemungkinan terjadinya *vapor lock*. Saat ini, terdapat kecenderungan untuk mengurangi tekanan uap pada bahan bakar. *American Auto/Oil Program* meneliti hubungan antara kehilangan akibat penguapan dengan tekanan uap dari gasoline. Ditemukan bahwa untuk *gasoline* dengan komposisi yang sama, penurunan sebesar 0,1 psi tekanan udara menghasilkan kehilangan akibat penguapan sebesar rata-rata 4,3% pada kendaraan dengan sistem *fuel injection* yang terbaru. Sedangkan pada kendaraan keluaran lama yang dilengkapi dengan karburator, efek yang ditemukan jelas lebih besar, yaitu kehilangan akibat penguapan sekitar 20% (Guibet dan Faura-Birchem, 1999). Selain itu, tekanan uap berpengaruh dalam penyalaan mesin yang tepat pada suhu lingkungan (*cold starting*), dan kualitas dari penyalaan mesin dengan injeksi bahan (API, 2001).

*Light naphtha* merupakan fraksi ringan yang merupakan produk penyulingan awal minyak mentah yang terdiri dari campuran hidrokarbon (terutama C5-C6) dengan normal boiling point antara 30°C-90°C. Secara umum, dari total produk yang diperoleh dari distilasi *crude oil*, 10% yieldnya terdiri dari *light naphtha* (Jones & Pujado, 2006) dan digunakan sebagai *industrial solvent* (IHS Markit, 2017). *Light naphtha* memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Namun perlu dilakukan *treatment* tambahan karena *light naphtha* memiliki bilangan oktan yang rendah dan tekanan uap yang tinggi.

Banyak industri telah memanfaatkan *light naphtha* sebagai *high octane gasoline* melalui proses *reforming* dan isomerisasi. Namun proses ini termasuk proses yang rumit dan membutuhkan biaya yang besar. Agar *light naphtha* bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar, *blending process* bisa menjadi salah satu cara yang lebih mudah dan ekonomis. Dari uraian sebelumnya, DEC diketahui dapat digunakan sebagai agen penurun tekanan uap selain sebagai aditif dari suatu bahan bakar. Sehingga *blending light naphtha* dengan DEC bisa menjadi salah satu solusi untuk menjadikan *light naphtha* sebagai bahan bakar.

Ketersediaan data performa bahan bakar untuk campuran yang mengandung DEC dan data penurunan tekanan uap untuk campuran *light naphtha* yang mengandung DEC sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh dari DEC terhadap performa pembakaran bahan bakar dan penurunan tekanan uap dari *light naphtha*. Serta dapat menentukan komposisi campuran yang sesuai untuk memenuhi target peningkatan performa pembakaran dan penurunan tekanan uap yang diinginkan. Oleh karenanya, pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran performa pembakaran pada campuran *gasoline* + DEC serta pengukuran tekanan uap dari campuran *light naphtha* + DEC sehingga dapat diketahui efek dari penambahan DEC terhadap performa pembakaran *gasoline* dan tekanan uap *light naphtha*.

## I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan sebelumnya, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Kurangnya ketersediaan data mengenai *physical properties* campuran *light naphtha* + DEC meliputi tekanan uap campuran dan nilai bilangan oktan campuran untuk menentukan komposisi *blending* yang optimum.
2. Perlunya pemilihan sebuah teori model korelasi tekanan uap yang sesuai untuk campuran *light naphtha* + DEC.
3. Kurangnya ketersediaan data mengenai performa campuran gasoline + DEC yang meliputi *exhaust gas emission*, *fuel consumption*, dan konsumsi udara pada proses pembakaran dan perbandingannya dengan aditif oksigenat yang lain (DMC dan Etanol).

Oleh karenanya, pada penelitian ini akan dilakukan uji performa pembakaran pada campuran gasoline + DEC dan aditif pembanding lain (DMC dan etanol), pengukuran tekanan uap dan nilai bilangan oktan dari campuran *light naphtha* + DEC sehingga dapat diketahui data *physical properties* (tekanan uap dan bilangan oktan) campuran *light naphtha* + DEC dan data performa campuran gasoline + DEC dibandingkan aditif lain (DMC dan etanol).

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh data physical properties yang meliputi tekanan uap dan nilai bilangan oktan campuran dari campuran *light naphtha* + DEC serta menentukan komposisi campuran yang optimum.
2. Mengkorelasikan data tekanan uap campuran hasil eksperimen dengan model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard.
3. Memperoleh data mengenai performa campuran *gasoline* + DEC pada proses pembakaran dan perbandingannya dengan aditif oksigenat lain (DMC dan etanol) untuk mendapatkan komposisi *blending gasoline* yang optimum.

### **I.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah mendapatkan data tekanan uap dan nilai oktan campuran *light naphtha* + DEC, data performa campuran *gasoline* + DEC, dan parameter-parameter yang dapat dijadikan referensi untuk menentukan penentuan komposisi *blending* yang optimum dari campuran *light naphtha* + DEC dan campuran *gasoline* + DEC, serta menginisiasi penggunaan *light naphtha* sebagai bahan bakar alternatif kedepannya.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. Tinjauan Penelitian**

Penambahan alkil karbonat (DMC/DEC) juga diketahui dapat meningkatkan performa mesin bakar (*SI engine*) dan efektif menurunkan kadar emisi gas buang yang diketahui pada beberapa penelitian berikut.

Wen et al. (2010) melakukan eksperimen mengenai pengaruh penambahan DMC dan etanol dalam gasoline-tanpa-timbal terhadap emisi gas buang, suhu gas buang dan konsumsi bahan bakar. Variabel yang divariasikan meliputi komposisi dan kecepatan mesin. Dari penelitian ini, diketahui bahwa aditif *oxygenated* dapat mengurangi emisi gas buang secara efektif. Komposisi terbaik untuk memperoleh minimum emisi gas buang adalah etanol 10% dan DMC 5%. Diketahui juga semakin bertambahnya aditif, maka konsumsi bahan bakar meningkat dikarenakan rendahnya heating value dari etanol dan DMC. Namun, secara keseluruhan nilai ekonomis dari penambahan etanol/DMC meningkat.

Suryawanshi dkk (2015) melakukan eksperimen mengenai pengaruh penambahan DMC dalam bahan bakar-tanpa-timbal terhadap emisi gas buang, suhu gas buang dan konsumsi bahan

bakar. Dari penelitian ini, diketahui bahwa aditif *oxygenated* dapat mengurangi emisi gas buang secara efektif. Komposisi terbaik untuk memperoleh minimum emisi gas buang adalah DMC 5%. Diketahui juga semakin bertambahnya aditif, maka konsumsi bahan bakar meningkat dikarenakan rendahnya heating value dari etanol dan DMC.

Penambahan alkil karbonat (DMC/DEC) juga diketahui dapat memberikan efek terhadap tekanan uap dari suatu bahan bakar. Li et al. (2009) melakukan eksperimen mengenai efek penambahan DEC atau DMC terhadap volatility dan *flash point* pada *aviation fuel*. Dari penelitian ini diketahui bahwa penambahan DEC atau DMC sebagai aditif memiliki efek yang kuat pada perilaku penguapan bahan bakar. Komposisi DEC atau DMC yang rendah pada campuran *aviation fuel* dapat meningkatkan volatilitas dan mengkonsumsi energi lebih rendah daripada yang biasa untuk mendapatkan jumlah penguapan yang sama.

Sedangkan data performa pembakaran untuk campuran bahan bakar gasoline + DEC aditif pembanding lain (DMC dan ethanol), data pengaruh penambahan DEC pada *light naphtha* belum tersedia. Dikarenakan hal tersebut, diperlukan data performa bahan bakar untuk campuran tersebut dan data tekanan uap campuran *light naphtha* + DEC.

## II.2. *Gasoline*

*Gasoline* merupakan salah satu fraksi minyak bumi yang secara luas digunakan sebagai bahan bakar transportasi. *Gasoline* sedikitnya mengandung 100 macam lebih senyawa hidrokarbon yang berbeda dan komposisinya pun berbeda tergantung dari sumber sumur minyak bumi dan juga proses pemisahan (Kreamer, 1990). Karena macam senyawa dan komposisi dari *gasoline* itu selalu berbeda untuk setiap tempat, maka diperlukan adanya standarisasi yang digunakan sebagai komponen dasar *gasoline* untuk keperluan penelitian seperti tes aditif, tes toksikologi, performa efisiensi pembakaran, penentuan properti fisik, dan sebagainya (Kreamer, 1990).

Beberapa standar untuk komposisi senyawa utama telah ditentukan sebagai acuan dasar. Salah satunya adalah API PS-6 *Standard Gasoline* yang digunakan untuk tes toksikologi dan *solubility* (Brookman dkk, 1985), AI-93 Standard yang digunakan tes aditif MTBE dan isomerisasi *gasoline* (Bursian dkk, 1985), dan Indolene O yang digunakan sebagai tes macam-macam aditif (Gentel dkk, 1974). Namun pada ASTM (ASTM, 1988), ada 3 grup senyawa utama yang telah digunakan untuk menentukan nilai oktan, yaitu toluena, isooktana dan n-heptana. Beberapa parameter dalam *gasoline* perlu diketahui untuk mengkarakterisasi *gasoline* untuk menilai bahan bakar mesin, antara lain:

## 1. Bilangan oktan

Angka oktan pada bahan bakar mesin bensin menunjukkan kemampuan menghindari terbakarnya campuran udara bahan bakar sebelum waktunya. Jika campuran udara bahan bakar terbakar sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena *knocking* yang berpotensi menurunkan daya mesin bahkan menimbulkan kerusakan pada komponen mesin.

## 2. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Pada proses pembakaran, nilai kalor yang terkandung dari bahan bakar akan diubah menjadi energi mekanik melalui kerja komponen mesin. Besarnya nilai kalor atas diuji menggunakan *bomb calorimeter*. Terdapat dua jenis nilai kalor yaitu :

- a. *Higher Heating Value* (HHV), yaitu nilai kalor atas. Nilai kalor atas ditentukan pada saat  $H_2O$  pada produk pembakaran berbentuk cairan.
- b. *Lower Heating Value* (LHV), yaitu nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat  $H_2O$  pada produk pembakaran berbentuk gas.

### **3. Viskositas**

Viskositas terkait dengan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja karburator pada mesin bensin.

### **4. Titik Nyala**

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api. *Flash point* mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar.

### **5. Titik Tuang (*Pour Point*)**

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir. Selain itu terkait dengan proses penyimpanan dalam tangki dan pengaliran pada suatu pipa.

## **6. Kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar**

Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, bahan bakar cenderung membentuk polimer yang berupa endapan-endapan *gum* (getah), ini berpengaruh kurang baik terhadap sistem saluran misalnya pada katup-katup dan saluran bahan bakar. Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain: senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain. Kandungan tersebut pada bensin harus diperkecil untuk mengurangi korosi yang dapat terjadi pada dinding silinder, katup, busi, dan lainnya. Hal inilah yang menyebabkan awal kerusakan pada mesin.

## **7. Berat Jenis (*Specific Gravity*)**

Berat jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Besar nilai berat jenis suatu zat dapat dicari dengan menggunakan piknometer. Penggunaan *specific gravity* adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai *specific gravity* antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Di

Amerika, *specific gravity* umumnya dinyatakan dengan satuan yang lain yaitu *API Gravity* (*American Petroleum Institute Gravity*) dengan cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$API\ Gravity = 141,5 / (Specific\ Gravity\ (60^{\circ}F)) - 131,5$$

### II.3. *Dimethyl Carbonate* (DMC)

*Dimethyl Carbonate* (DMC) termasuk sebagai *green chemical*, karena memiliki karakteristik tidak beracun, ramah lingkungan dan dapat terdegradasi (*biodegradable*). DMC termasuk bahan yang mudah terbakar, memiliki rasa seperti metanol, tidak memiliki efek iritasi dan mutagenik (Tundo dan Selva, 2002). Saat ini DMC mulai menjadi perhatian khusus untuk digunakan sebagai aditif bahan bakar. Hal ini disebabkan DMC memiliki kandungan oksigen 3 kali lebih besar dibandingkan MTBE sehingga mampu mereduksi emisi hidrokarbon dan CO lebih banyak daripada MTBE (Pacheco dan Marshall, 1997). DMC dapat diproduksi dengan berbagai metode antara lain proses *phosgene*, oksidatif *carbonylation* dari metanol, pertukaran ester dengan metanol dan reaksi langsung antara CO<sub>2</sub> dan metanol (Choi dkk, 2008). Properti DMC dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.1** Properti *Dimethyl Carbonate* (Lewis, 1997)

Nama Lain	DMC, <i>Methyl carbonate</i>
Rumus Kimia	OC(OCH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Berat Molekul	90.08 g/mole



Normal Boiling Point	90°C
Densitas (25°C)	1.073 g/ml
Kelarutan (25°C)	139 g/L dalam air

#### II.4. *Diethyl Carbonate (DEC)*

*Diethyl Carbonate* (DEC) dikenal sebagai bahan kimia yang ramah lingkungan karena memiliki kandungan beracun yang dapat diabaikan. Kandungan oksigen yang tinggi dalam DEC membuat DEC menjadi bahan yang menjanjikan sebagai bahan aditif penambah nilai oksigen dalam bahan (Pacheco dan Marshall, 1997). Keuntungan lain dari DEC adalah DEC dapat terurai dengan lambat menjadi karbon dioksida dan etanol dimana keduanya tidak mempunyai efek pada saat dibuang ke lingkungan (Crandall dkk, 1987). Terdapat beberapa metode secara sintetis untuk memproduksi DEC, seperti proses *phosgene* (Muskat, 1941), oksidatif *carbonylation* dari etanol (Dunn dkk, 2002), aktivasi dari karbon dioksida (Tomishige dkk, 1999), reaksi dari etanol dengan urea dengan katalis organotin (Ryu, 1999), dan pertukaran ester (Urano dkk, 1993). Properti DEC dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.2** Properti *Diethyl Carbonate* (Marshall, 1997 dan Christensen, 2011)

Nama Lain	<i>Carbonic Ether, Ethyl Carbonate, Eufin</i>
Rumus Kimia	$\text{OC}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$
Berat Molekul	118.13 g/mole
<i>Lower Heating Value</i>	74.3 MBtu/gal
<i>Vapor Pressure @20 °C</i>	1.11 kPa
<i>Normal Boiling Point</i>	126 °C
Densitas	0.975 g/cm <sup>3</sup>
<i>Research Octane Number (RON) Gasoline Blending at 10 vol%</i>	111

## II. 5 Etanol

Etanol atau etil alkohol adalah jenis alkohol primer dengan 2 karbon yang terstruktur dengan rumus molekulnya adalah  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Etanol bersifat mudah menguap, mudah terbakar, dan merupakan cairan tak berwarna. Etanol biasa digunakan sebagai obat psikoaktif agak kuat, ditemukan dalam minuman beralkohol dan termometer modern. Dalam penggunaan umum, sering disebut hanya sebagai alkohol. Etanol telah digunakan secara luas sebagai zat pelarut. Terutama dalam pewangi, penyedap, pewarna, dan obat-obatan. Dalam industri kimia, etanol merupakan pelarut

penting dan bahan baku untuk sintesis produk-produk lainnya. Juga digunakan sebagai bahan bakar untuk energi panas dan cahaya, dan baru-baru ini sebagai bahan bakar untuk mesin pembakaran internal.

**Tabel 2.3** Properti Etanol (Short, 1983)

Nama Lain	<i>Ethyl alcohol; alcohol</i>
Rumus Kimia	$C_2H_6O$
Berat Molekul	46.07 g/mole
<i>Lower Heating Value</i>	75.7 MBtu/gal
<i>Vapor Pressure @20 °C</i>	5.95 kPa
<i>Normal Boiling Point</i>	78.29 °C (173 °F) pada 760 mmHg
<i>Melting Point</i>	-114.3 °C (-174 °F)
<i>Research Octane Number (RON) Gasoline Blending at 10 vol%</i>	109
Densitas	(0.789 gm/cm <sup>3</sup> ) pada 25 °C atau 70 °F

## II.6 Aseton

Aseton (propanon) merupakan senyawa organik dengan rumus  $(CH_3)_2CO$ . Aseton memiliki wujud berupa cairan yang tidak berwarna, mudah menguap, mudah terbakar, dan merupakan senyawa dengan merupakan keton yang paling sederhana dan terkecil. Aseton adalah pelarut yang baik untuk berbagai jenis plastik dan beberapa serat sintesis. Aseton juga digunakan sebagai salah satu komponen volatil dari beberapa jenis cat dan pernis. Sebagai degreaser tugas berat, itu berguna dalam persiapan logam

sebelum lukisan. Dalam kehidupan sehari-hari, aseton biasanya digunakan sebagai pembersih untuk cat kuku. Aseton digunakan dalam berbagai aplikasi medis dan kosmetik umum, terdaftar sebagai komponen dalam aditif makanan dan kemasan makanan. Aseton dengan kadar rendah juga umum digunakan dalam kegiatan laboratorium sebagai agen pembilasan gelas untuk menghilangkan residu dan padatan sebelum pencucian akhir. Aseton mengalami fluorescent di bawah sinar ultraviolet, dan uapnya dapat digunakan sebagai pelacak fluorescent dalam percobaan aliran fluida (Lozano, 1992).

**Tabel 2.4** Properti Aseton (Lide, 2003)

Nama Lain	Dimethyl ketone
Rumus Kimia	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
Berat Molekul	58.08 g/mole
<i>Lower Heating Value</i>	83.127 MBtu/gal
<i>Vapor Pressure @20 °C</i>	24.73 kPa
<i>Normal Boiling Point</i>	56.2 °C pada 760 mmHg
<i>Melting Point</i>	-95.35 °C (-139.63 °F)
Densitas	(0.7844 gm/cm <sup>3</sup> ) pada 25 °C atau 70 °F

## II.7 Pertamina

Pertamax merupakan bahan bakar bensin dengan angka oktan minimal 92 berstandar internasional. Pertamina sangat direkomendasikan untuk digunakan pada kendaraan yang memiliki kompresi rasio 10:1 hingga 11:1 atau kendaraan berbahan bakar bensin yang menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel*

*Injection (EFI)*. Pertamina dilengkapi dengan *ecosave technology*, Pertamina mampu membersihkan bagian dalam mesin (*detergency*), Pertamina juga dilengkapi dengan pelindung anti karat pada dinding tangki kendaraan, saluran bahan bakar dan ruang bakar mesin (*corroton inhibitor*), serta mampu menjaga kemurnian bahan bakar dari campuran air sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna (*demulsifier*).

**Tabel 2.5** Properti Pertamina (Pertamina, 2012)

Nama Lain	-
Bilangan Oktan	92
Warna	Biru
Kandungan Timbal	0.013 gr/liter
Tekanan Uap (37.8°C)	45-60 kPa
<i>Normal Boiling Point</i>	215 °C pada 760 mmHg
Kandungan Sulfur	0.05 (%m/m)
Berat Jenis (pada suhu 15°C)	715-770 kg/m <sup>3</sup>

## II.8 *Light Naphtha*

*Light naphtha* merupakan fraksi ringan yang merupakan produk penyulingan awal minyak mentah yang terdiri dari campuran hidrokarbon (terutama C5-C6). *Light naphtha* merupakan campuran yang terdiri dari hidrokarbon alifatik berantai lurus dan siklik yang memiliki lima hingga enam atom karbon per molekul. Secara umum, dari total produk yang diperoleh dari distilasi *crude oil*, 10% yieldnya terdiri dari *light*

*naphtha* (Jones & Pujado, 2006) dan digunakan sebagai industrial solvent (IHS Markit, 2017).

**Tabel 2.6** Properti *Light Naphtha* Jones & Pujado, 2006)

Nama Lain	-
Warna	Jernih kekuningan
<i>Normal Boiling Point</i>	30°C - 90°C
Flash Point	< -18°C
Specific gravity	0.6-0.7

## II.9 Kesetimbangan Uap Cair (VLE)

Apabila suatu campuran zat cair berada dalam kesetimbangan dengan campuran uap pada temperatur dan tekanan yang sama, maka dapat dikatakan bahwa sistem campuran zat cair tersebut berada pada kesetimbangan uap cair. Suatu sistem dikatakan setimbang secara termodinamika jika sistem tersebut tidak mengalami kecenderungan ke arah perubahan pada skala makroskopis.

Uap berasal dari fase liquida yang menunjukkan kecenderungan untuk berubah menjadi uap. Fase uap juga memiliki kecenderungan menjadi fase liquid dengan cara kondensasi. Kecenderungan untuk berubah dapat diukur dengan kuantitas  $f$  yang disebut fugasitas. Pada keadaan setimbang properti-properti yang teramati tidak berubah terhadap waktu, sehingga properti-properti intensif atau potensial termodinamikanya (suhu, tekanan, potensial kimia) sama dalam suatu sistem. Keseragaman tersebut berpengaruh pada tidak adanya

transfer panas, transfer massa, dan kerja dari dalam maupun ke luar sistem.

Untuk setiap komponen dalam campuran, kondisi kesetimbangan dapat di nyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^L = \hat{f}_i^V \quad (2.1)$$

Untuk fase uap dengan fraksi mol  $y$ , hubungan antara fugasitas dengan temperatur, tekanan dan fraksi mol, koefisien fugasitas dapat di nyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^V = y_i \hat{\phi}_i P \quad (2.2)$$

Fugasitas komponen  $i$  dalam fase cair terhubung dengan komposisi fase yang bersangkutan melalui koefisien aktivitas  $\gamma_i$  yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\hat{f}_i^L = x_i \gamma_i f_i^0 \quad (2.3)$$

Dengan harga  $f_i^0$  didapatkan dari persamaan

$$f_i^0 = P_i^{sat} \phi_i^{sat} \exp\left(\frac{V_i^l(P - P_i^{sat})}{RT}\right) \quad (2.4)$$

Pada tekanan rendah, faktor exponensial (*pynting factor*) yang nilainya mendekati 1 dan  $\phi_i$  dianggap 1 sehingga :

$$\hat{f}_i^L = \gamma_i x_i P_i^{sat} \quad (2.5)$$

Pada tekanan rendah fasa gas diasumsikan mengikuti kelakuan gas ideal maka :

$$\hat{\phi}_i = 1 \quad (2.6)$$

Maka Dari Persamaan (2.2) dan (2.5) didapatkan persamaan :

$$y_i P = P_i^{sat} \gamma_i x_i \quad (2.7)$$

Sedangkan koefisien aktivitas dinyatakan dengan persamaan :

$$\gamma_i = \frac{\hat{f}_i^L}{x_i f_i^o} \quad (2.8)$$

Pada Persamaan Gibbs Duhem dinyatakan bahwa di dalam suatu campuran, koefisien aktivitas tiap komponennya tidak bebas terhadap yang lain melainkan terhubung melalui Persamaan Diferensial. Persamaan Umum Gibbs Duhem :

$$\left[ \frac{\partial M}{\partial P} \right]_{T,x} dP + \left[ \frac{\partial M}{\partial T} \right]_{P,x} dT - \sum_i x_i d\bar{M}_i = 0 \quad (2.9)$$

Pada  $P$  dan  $T$  konstan, maka :

$$\sum_i x_i d\bar{M}_i = 0 \quad (2.10)$$

Jika  $\ln \gamma_i$  adalah properti parsial, maka Persamaan (2.10) menjadi:

$$\sum x_i d \ln \gamma_i = 0 \quad (2.11)$$

Maka diperoleh hubungan Persamaan Gibbs Duhem untuk sistem biner sebagai berikut :

$$x_1 \left[ \frac{\partial \ln \gamma_1}{\partial x_1} \right]_{T,P} = x_2 \left[ \frac{\partial \ln \gamma_2}{\partial x_2} \right]_{T,P} \quad (2.12)$$

Agar suatu data mudah diolah maka harganya relatif terhadap suatu keadaan ideal dengan eksese properti yaitu perbedaan antara harga nyata dan harga idealnya, dimana :



$$M^E = M - M^{id} \quad (2.13)$$

$$nG^E = nG - nG^{id} \quad (2.14)$$

Penggunaan Persamaan Gibbs Duhem paling baik dilakukan melalui konsep kelebihan energi Gibbs (*excess* energi Gibbs), yaitu energi Gibbs teramati pada suatu campuran yang di atas atau lebih besar untuk larutan ideal pada temperatur, tekanan dan komposisi yang sama.

Total kelebihan energi Gibbs  $G^E$  untuk larutan biner, mengandung  $n_1$  mol komponen 1 dan  $n_2$  mol komponen 2 di definisikan dengan :

$$\frac{G^E}{RT} = x_1 \ln \gamma_1 + x_2 \ln \gamma_2 \quad (2.15)$$

Dalam sistem kesetimbangan uap-cair, ketika yang diketahui merupakan data fraksi komponen pada liquid dan suhu, sedangkan yang dihitung adalah tekanan, maka digunakan perhitungan BUBL P dengan asumsi  $\sum_i y_i = 1$ . Oleh karena itu persamaan (2.7) menjadi:

$$P = \sum_i x_i \gamma_i P_i^{sat} \quad (2.16)$$

## II.10 Pengukuran Tekanan Uap Campuran

Pengukuran tekanan uap campuran dilakukan dengan menggunakan peralatan Ebulliometer. Ebulliometer merupakan peralatan yang dirancang untuk mengukur *vapor pressure* dari liquid secara akurat dengan mengukur tekanan pada saat terjadinya

kesetimbangan uap cair baik pada kondisi isothermal (Sandler, 1999). Salah satu peralatan yang digunakan pada pengukuran tekanan uap campuran adalah yang dikembangkan oleh Li *et al.* pada 1995.

Pada peralatan ini, menggunakan konsep quasi-static method, yaitu metode pengukuran dengan melakukan pengukuran berdasarkan komposisi awal. Hal ini dikarenakan komposisi larutan awal dianggap sama dengan komposisi larutan pada keadaan setimbang akibat perubahan komposisi yang sangat kecil hingga dapat diabaikan. Secara teori, hal ini sangat sulit untuk diwujudkan pada ebulliometer konvensional. Pada ebulliometer yang disusun oleh Li *et al.*, dapat dilihat bahwa ebulliometer yang digunakan memiliki kemiringan  $30^\circ$  sehingga dapat mengurangi beban pompa untuk mengangkat liquid, sehingga suhu pada saat kesetimbangan dapat diukur. Selain itu, *reflux ratio* dan *liquid holdup* dapat dikurangi secara efektif. (Li *et al.*, 1995).

Dengan prinsip yang sama, quasi-static condition, Oktavian *et al.* merancang ebulliometer baru pada 2011. Dengan menghilangkan bagian ebulliometer yang miring dan memperbesar volume tabung ebulliometer, jumlah zat yang diuji dapat meningkat sehingga perubahan komposisi liquid dapat diabaikan. (Oktavian *et al.*, 2013)

## II.11 Persamaan – Persamaan Koefisien Aktivitas

Model energi Gibbs seperti Wilson, NRTL (*Non Random Two Liquid*), UNIFAC (*Universal Functional Activity Coefficient*) dan UNIQUAC (*Universal Quasi-Chemical*) sering digunakan untuk korelasi VLE campuran non-ideal. Model ini membutuhkan parameter interaksi biner tiap pasangan antar molekulnya (*pair*).

### II.11.1 Persamaan Wilson

Persamaan Wilson dikemukakan oleh Wilson (1964). Persamaan Wilson mengacu pada konsep *local composition* yang merupakan dasar dari pengembangan teori pada termodinamika molekuler untuk *liquid-solution*. Pada *liquid-solution*, komposisi lokal berbeda dengan komposisi campuran secara keseluruhan, merupakan perkiraan untuk menghitung *short-range* dan *nonrandom molecular orientation* yang dihasilkan dari perbedaan ukuran molekul dan gaya intermolekuler.

Persamaan Wilson dapat digunakan untuk larutan ideal maupun larutan yang sangat tidak ideal. Untuk campuran-campuran biner sangat tidak ideal, misalnya larutan-larutan alkohol dengan hidrokarbon, persamaan Wilson lebih baik karena tidak seperti persamaan NRTL yang memiliki tiga parameter dan secara matematik lebih sederhana dibandingkan persamaan UNIQUAC.

Persamaan Wilson, seperti halnya persamaan Margules dan Van Laar hanya terdiri dari dua parameter untuk sistem biner ( $\Lambda_{12}$  dan  $\Lambda_{21}$ ) yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{G^E}{RT} = -x_1 \ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) - x_2 \ln(x_2 + \Lambda_{21}x_1) \quad (2.17)$$

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{x_1\Lambda_{21} + x_2} \right) \quad (2.18)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21}x_1) - x_1 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{x_1\Lambda_{21} + x_2} \right) \quad (2.19)$$

$$\Lambda_{12} = \frac{V_2}{V_1} \exp\left(-\frac{\lambda_{12} - \lambda_{11}}{RT}\right) \quad (2.20)$$

$$\Lambda_{21} = \frac{V_1}{V_2} \exp\left(-\frac{\lambda_{21} - \lambda_{22}}{RT}\right) \quad (2.21)$$

Persamaan biner tersebut dikembangkan dari persamaan umum yang juga dapat digunakan untuk komponen lebih dari dua. Persamaan umum koefisien aktifitas adalah sebagai berikut :

$$\ln \gamma_i = -\ln\left(\sum_j^N x_j \Lambda_{ij}\right) + 1 - \sum_K^N \frac{x_k \Lambda_{ki}}{\sum_K^N x_j \Lambda_{kj}} \quad (2.22)$$

Kelebihan dari persamaan Wilson ini adalah :

- Dapat digunakan untuk larutan mendekati ideal maupun larutan yang sangat tidak ideal
- Hanya memiliki dua parameter sehingga lebih mudah dalam pengerjaannya

- Untuk campuran biner yang sangat tidak ideal (larutan alkohol dengan hidrokarbon) akan diperoleh hasil prediksi yang lebih baik
- Baik digunakan untuk larutan yang nonpolar
- Dapat dipakai untuk sistem multi komponen

Sementara, kekurangan dari persamaan Wilson ini adalah :

- Tidak dapat digunakan pada larutan yang tidak larut
- Tidak dapat dipakai untuk LLE (*Liquid-liquid Equilibrium*)
- Tidak dapat dipakai untuk polimer

### **II.11.2 Persamaan NRTL**

Persamaan NRTL dikemukakan oleh Renon dan Prauznitz (1968). Persamaan ini diturunkan berdasarkan konsep *local composition* yang dipelopori oleh Wilson. Persamaan NRTL ini dapat digunakan untuk sistem yang larut sebagian maupun untuk sistem yang larut sempurna. Persamaan ini dapat dipakai secara luas dalam VLE, LLE, dan VLLE untuk berbagai jenis zat, misalnya campuran hidrokarbon jenuh dan spesies polar, campuran senyawa non-polar, campuran spesies non-polar dan polar, campuran air dan spesies polar, dan campuran alkohol dengan campuran spesies non-polar.

Persamaan NRTL mempunyai tiga parameter, yaitu dengan tambahan parameter ketidakacakan ( $\alpha$ ) yang membuat persamaan tersebut dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis campuran dan kesetimbangan cair-cair. Perhitungan parameter

untuk persamaan ini dilakukan dengan menetapkan harga  $\alpha$  pada nilai tertentu dan selanjutnya melakukan optimasi untuk memperoleh dua parameter. Harga  $\alpha$  biasanya berada diantara 0,2 sampai 0,47. Angka ini diperoleh dari beberapa eksperimen sistem biner. Walaupun lebih rumit, persamaan ini dapat digunakan pada sistem ideal dan non-ideal.

Persamaan NRTL untuk sistem biner dinyatakan dengan :

$$\frac{G^E}{RT} = x_1 x_2 \left( \frac{\tau_{21} G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} + \frac{\tau_{12} G_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right) \quad (2.23)$$

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left[ \tau_{21} \left[ \frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right]^2 + \frac{\tau_{12} G_{12}}{(x_2 + x_1 G_{12})^2} \right] \quad (2.24)$$

$$\ln \gamma_2 = x_1^2 \left[ \tau_{21} \left[ \frac{G_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right]^2 + \frac{\tau_{12} G_{21}}{(x_1 + x_2 G_{21})^2} \right] \quad (2.25)$$

dimana,

$$\ln G_{12} = -\alpha_{12} \tau_{12} \quad (2.26)$$

$$\ln G_{21} = -\alpha_{12} \tau_{21} \quad (2.27)$$

$$\tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT} \quad (2.28)$$

$$\tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT} \quad (2.29)$$

Persamaan koefisien aktifitas untuk sistem biner dan multikomponen lain dapat diturunkan dari persamaan dasarnya:

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{k=1}^n G_{ki} x_k} + \sum_{j=1}^n \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \left( \tau_{ij} - \sum_{k=1}^n \frac{x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^n G_{kj} x_k} \right) \quad (2.30)$$

Pengalaman menunjukan bahwa Persamaan model NRTL ini memiliki keandalan yang konsisten dibanding Van Laar dan Margules dalam arti persamaan ini biasanya dapat menangani keadaan-keadaan yang sangat tidak ideal, hanya dengan dua atau tiga parameter yang dapat disesuaikan. Persamaan NRTL sesuai untuk sistem multikomponen. Dapat digunakan untuk system VLE dan LLE. Untuk sistem organik akan diperoleh hasil yang baik dan akurat, dan dapat dipakai untuk larutan yang saling larut sempurna dan yang larut sebagian.

Sementara kekurangan dari persamaan NRTL adalah membutuhkan tiga parameter biner, perlu kehati-hatian dalam pemilihan  $\alpha$  (biasanya diperoleh dari data percobaan sebelumnya), dan tidak dapat dipakai untuk polimer.

### **II.11.3 Persamaan *Regular Solution Hildebrand and Scatchard***

Pada larutan nyata, hukum Raoult merupakan pendekatan kasar pada penggunaannya dan tidak memberikan hasil yang akurat; hanya dapat digunakan untuk campuran yang memiliki sifat yang mirip, seperti contohnya campuran antara n-butana/isobutana. Oleh karena itu, koefisien aktivitas berperan penting pada perhitungan fenomena kesetimbangan.

Termodinamika klasik hanya memberikan sedikit informasi mengenai koefisien aktivitas dan juga besaran termodinamika tidak dapat secara langsung diamati pada suatu eksperimen, melainkan dihubungkan dengan besaran lain yang dapat diamati. Karenanya, termodinamika menghubungkan pengaruh tekanan terhadap koefisien aktivitas melalui parsial molar volume dan pengaruh temperatur terhadap koefisien aktivitas melalui parsial molar entalpi.

Namun, ada suatu persamaan termodinamika yang sangat berguna untuk menghubungkan, mengkorelasikan dan memperluas data eksperimen yang terbatas yaitu persamaan Gibbs-Duhem. Penerapan dari persamaan Gibbs-Duhem dapat direalisasikan dengan sangat baik melalui konsep *excess Gibbs energy*. Namun ada masalah yang belum dapat dipecahkan dengan konsep *excess Gibbs energy* itu sendiri yaitu pengaruh temperatur terhadap *molar excess Gibbs energi*. Masalah ini dikarenakan pengetahuan mengenai *excess molar entropi* ( $s^E$ ) yang masih sedikit diketahui, sehingga ada 2 macam pendekatan yang sering digunakan :

- a. *Athermal solution*. Pendekatan ini mengasumsikan  $g^E = -Ts^E$ , dimana larutan bercampur pada suhu konstan tanpa perubahan entalpi ( $h^E = 0$ ). Asumsi ini beranggapan bahwa pada komposisi tertentu,  $\ln \gamma_i$  independen terhadap T atau  $g^E/RT$  independen terhadap T.



- b. *Regular solution*. Pendekatan ini mengasumsikan  $g^E = h^E$ , dimana larutan bercampur pada suhu konstan tanpa perubahan entropi ( $s^E = 0$ ). Asumsi ini beranggapan bahwa pada komposisi tertentu,  $\ln \gamma_i$  bervariasi terhadap  $1/T$  atau  $g^E$  independen terhadap  $T$ . (Poling, 2001)

Koefisien aktivitas dari teori regular solution pertama kali diperkenalkan oleh van der Waals, van Laar, Hilderbrand, dan Scatcard (Hildebrand and Scott, 1962). Bahwa untuk campuran biner dari molekul non-polar, koefisien aktivitas  $\gamma_1$  dan  $\gamma_2$  dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$RT \ln \gamma_1 = V_1^L \phi_2^2 [(\delta_1 - \delta_2)^2 + 2l_{12}\delta_1\delta_2] \quad (2.31)$$

$$RT \ln \gamma_2 = V_2^L \phi_1^2 [(\delta_1 - \delta_2)^2 + 2l_{12}\delta_1\delta_2] \quad (2.32)$$

Dimana solubility parameter  $\delta_i$  didefinisikan sebagai

$$\delta_i = C_{ii}^{1/2} = \left( \frac{\Delta U_i}{V_i^L} \right)^{1/2} \quad (2.33)$$

Persamaan regular solution yang sudah digeneralisasi untuk campuran multikomponen dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$RT \ln \gamma_k = V_k^L \sum_i \sum_j \left( A_{ik} - \frac{1}{2} A_{ij} \right) \phi_1 \phi_2 \quad (2.34)$$

Dimana

$$A_{ij} = (\delta_1 - \delta_2)^2 + 2l_{ij}\delta_i\delta_j \quad (2.35)$$

## **II.12 Performa Mesin Bakar (*SI Engine*)**

Performa mesin menunjukkan tingkat kesuksesannya dalam mengkonversi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Untuk itu, ada beberapa parameter yang digunakan sebagai ukuran terhadap performa atau unjuk kerja agar mesin tersebut dapat bekerja secara optimal sesuai tujuan penggunaannya. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin antara lain:

### **1. Torsi**

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada engine adalah sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = P \cdot R \text{ (N.m)}$$

dimana:

P = gaya tangensial (N)

R = panjang lengan waterbrake dynamometer (m)

### **2. Daya (bhp)**

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau power. Brake horse power merupakan daya yang dihasilkan dari poros output mesin yang dihitung

berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya.

Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan :

$$\text{bhp} = \omega \cdot T$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T \text{ (Watt)}$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T / 746 \text{ (hp)} \quad (2.37)$$

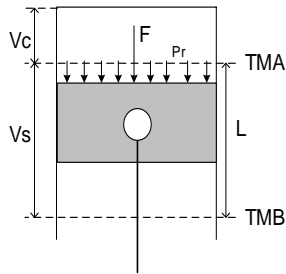
dimana :

$T$  = Torsi (N.m)

$n$  = putaran poros waterbrake dynamometer (rps)

### **3. Tekanan efektif rata-rata (BMEP)**

Tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bmep (*brake mean effective pressure*). Besarnya bmep dapat diturunkan sebagai berikut :



**Gambar 2.1** Proses Penghasilan Kerja pada piston mesin bakar  
(SI Engine).

Gaya yang bekerja mendorong piston kebawah :

$$F = P_r \times A$$

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \times L = (P_r \times A) \times L$$

Daya Motor (Kerja per satuan waktu):

Jika poros engkol berputar  $n$  rpm, maka dalam 1 menit akan terjadi

$\frac{n}{z}$  siklus kerja.

dimana  $\frac{n}{z} \left( \frac{\text{siklus}}{\text{menit}} \right)$  ;  $z = 1$  (2 langkah),  $2$  (4 langkah)

$$\text{Daya tiap silinder : } N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$$

$$\text{Daya motor sejumlah "i" silinder : } N = \frac{P_r \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$$

Jika  $N = \text{bhp}$  dan  $P_r = \text{bmep}$ , maka :

$$bmep = \frac{bhp \times z}{A \times L \times n \times i} (Pa) \quad (2.38)$$

Dimana :

bhp = daya motor, Watt

A = Luas penampang torak, m<sup>2</sup>

L = Panjang langkah torak, m

i = Jumlah silinder

n = Putaran mesin, rps

z = 1 ( motor 2 langkah) atau 2 ( motor 4 langkah )

#### 4. Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc)

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) merupakan banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin selama satuan waktu tertentu. Sedangkan, sfc (*specific fuel consumption*) merupakan jumlah konsumsi bahan bakar mesin selama satuan waktu tertentu untuk menghasilkan satu daya efektif. Karena perhitungan sfc didasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bsfc (*brake spesific fuel consumption*).

Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam ( $\dot{m}_{bb}$ ) adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} \quad (kg/detik)$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} (kg / jam)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$S_{fc} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{bb}}{bhp} (kg/kW.jam) \quad (2.39)$$

dimana :

$m_{bb}$  = massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin (kg)

$\dot{m}_{bb}$  = pemakaian bahan bakar tiap satuan waktu (kg/detik atau kg/jam)

$s$  = waktu konsumsi bahan bakar (detik)

$s_{fc}$  = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/hp.jam)

$bhp$  = Daya efektif poros mesin dalam satuan kilowatt (kW)

## 5. Efisiensi termal ( $\eta_{th}$ )

Besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam dinyatakan dalam efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ). Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sehingga efisiensi termal yang dihasilkan juga akan berbeda pula. Secara teoritis efisiensi termal bahan bakar dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Bhp}{\dot{m}_{bb} \times Q} \times 100\% \quad (2.40)$$

$\dot{m}_{BB}$  merupakan laju aliran bahan bakar (kg/s) dan  $Q$  nilai bahan bakar. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang

dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor bawah (NKB) atau *lower heating value* (LHV) dapat dinyatakan dengan rumus empiris (untuk bahan bakar bensin) sebagai berikut:

$$\text{LHV} = [16280 + 60(\text{API})] \text{ Btu/lb}$$

dimana :  $1 \text{ Btu/lb} = 2,326 \text{ kJ/kg}$

$$1 \text{ kJ/kg} = [1/4187] \text{ kkal/kg}$$

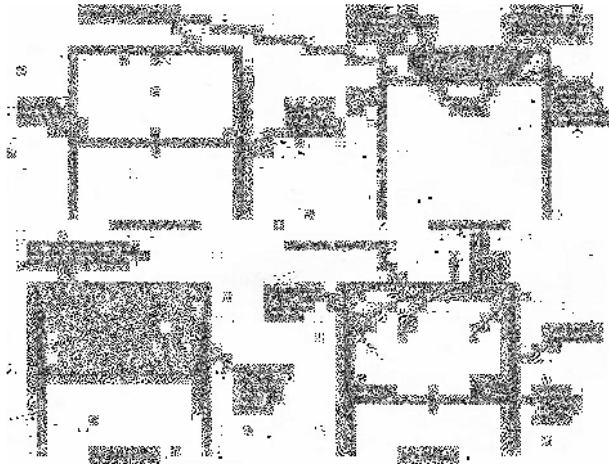
API Gravity adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. API Gravity diukur pada temperatur minyak bumi  $60^\circ\text{F}$ . Harga API Gravity dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{API} = \frac{141,5}{\text{Specific Gravity pada } 60^\circ\text{F}} - 131,5 \quad (2.41)$$

## II.13 Emisi Gas Buang

Selain parameter performa mesin, juga harus diketahui kandungan emisinya dalam gas buangnya sehingga pengaruhnya terhadap lingkungan berupa polusi udara dapat diketahui. Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar kedalam udara sedemikian rupa sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan lingkungan tidak berfungsi sebagaimana mestinya (UUPLH No.23/1997 pasal 1). Polutan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah polutan dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh polutan primer adalah partikulat, Sulfur Oksida ( $\text{SO}_x$ ),

Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), dan Karbon Monoksida (CO). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan primer yang bereaksi dengan komponen lain diudara, contohnya Ozon (O<sub>3</sub>) dan Peroksi Asetil Nitrat (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfer melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi. Proses terbentuknya polutan dalam silinder pada *engine SI* konvensional secara sederhana ditunjukkan dalam gambar berikut:



**Gambar 2.2** Mekanisme pembentukan polutan HC dan CO pada mesin bakar

Beberapa polutan lebih sering menjadi perhatian karena efeknya yang besar pada lingkungan dan selalu diemisikan dalam gas buang. Hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) merupakan emisi yang selalu diperhatikan pada gas buang mesin bakar karena



sifatnya toksik dan berdampak pada perubahan iklim. Berikut penjelasan hidrokarbon, karbon monoksida dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) sebagai polutan di udara:

### **1. Hidrokarbon (HC)**

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang. Sebab-sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya overlap valve, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

Polutan unburned hidrokarbon berasal dari beberapa sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada *engine SI* sebagai berikut:

- **HC dalam volume *crevice*.**

Volume *crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang merupakan sumber utama munculnya HC dalam gas buang. Volume *crevice* yang paling utama adalah volume diantara piston, ring piston dan dinding silinder. Volume *crevice* yang lainnya adalah *crevice* disekitar ulir busi, ruangan disekitar

pusat elektroda busi, dan crevice disekitar gasket silinder *head*.

- **Proses flame quenching pada dinding ruang bakar.**

Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.

- **Penyerapan uap bahan bakar ke dalam lapisan oli pada dinding ruang bakar.**

Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.

- **Pembakaran yang tidak sempurna.**

Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur unburned mixture didepan muka api menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur unburned didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam. Hal ini dapat

menyebabkan konsentrasi HC dalam gas buang meningkat tajam.

## **2. Karbon monoksida (CO)**

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Gas karbon monoksida merupakan komponen utama dalam udara tercemar, karena kereaktifan gas karbon monoksida terhadap hemoglobin dalam darah yang mengakibatkan darah kekurangan oksigen dan menyebabkan gangguan saraf pusat. Pembakaran yang normal pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada didalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang.

Karbon monoksida juga sangat ditentukan oleh kualitas campuran, homogenitas dan *A/F ratio*. Semakin bagus kualitas campuran dan homogenitas akan mempermudah oksigen untuk bereaksi dengan karbon. Jumlah oksigen dalam campuran (*A/F ratio*) juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO). Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada

campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi (melepaskan diri) membentuk karbon monoksida + oksigen.

### 3. Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>)

Secara teoritis ada 3 teori yang mengemukakan terbentuknya NO<sub>x</sub>, yaitu:

a. Thermal NO<sub>x</sub> (*Extended Zeldowich Mechanism*)

Proses ini disebabkan gas nitrogen yang beroksidasi pada suhu tinggi pada ruang bakar ( $> 1800\text{K}$ ). Thermal NO<sub>x</sub> ini didominasi oleh emisi NO ( $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO} + \text{NO}_2$ )

b. *Prompt* NO<sub>x</sub>

Formasi NO<sub>x</sub> ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran

c. *Fuel* NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> formasi ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar.

Kira-kira 90% dari emisi NO<sub>x</sub> adalah disebabkan proses thermal NO<sub>x</sub>, dan tercatat bahwa dengan penggunaan HFO (*Heavy Fuel Oil*), bahan bakar yang biasa digunakan di kapal, menyumbangkan emisi NO<sub>x</sub> sebesar 20-30%. nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan atmosfer zat ini

membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berawan coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia (Ramadhana, 2008).

## **II.14 Metode Solver**

*Solver* adalah program tambahan excel yang dapat digunakan untuk menyelesaikan analisis perhitungan. Solver digunakan untuk menemukan nilai optimal (baik maksimum atau minimum) dari suatu permasalahan perhitungan. Dalam perhitungan kimia, solver dapat digunakan untuk melakukan iterasi perhitungan untuk mencari nilai parameter interaksi biner. Langkah-langkah penggunaan *solver* pada excel adalah sebagai berikut:

- a. Pilih sel tujuan yang akan dicari nilai optimalnya. Sel tujuan ini harus berisi rumus matematis dan bukan berisi nilai langsung. Dalam mencari nilai parameter biner model VLE, sel tujuan yang dipilih adalah nilai AAD (*Average Avian Deviation*), nilai RMSD (*Root Mean Square Data*), atau *objective function* tertentu.
- b. Pilih nilai optimal apa yang akan dicari dari sel tujuan, apakah nilai maksimum, minimum, atau nilai tertentu yang

dicari. Untuk perhitungan nilai parameter, dipilih nilai minimum karena kita ingin mendapatkan hasil parameter dan hasil eksperimen dengan deviasi seminim mungkin.

- c. Pada kotak “*By Changing Variable Cell*” kita masukkan sel target yang harus diubah-ubah untuk mengubah-ubah nilai sel tujuan agar dapat mencapai target yang diinginkan. Pada perhitungan nilai parameter, variabel sel yang harus diubah-ubah adalah semua nilai parameter yang harus dicari.
- d. Kemudian apabila terdapat batasan yang diinginkan dalam pencarian nilai optimal, dapat ditambahkan batasan tersebut pada tabel “*Subject to The Constraints*”
- e. Kemudian dipilih “*Solving Method*”. GRG nonlinier dipilih untuk mencari persamaan yang nonlinear dan halus, sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai parameter persamaan *biner* VLE.
- f. Kemudian pilih *solve*, maka excel akan melakukan iterasi hingga akan menghasilkan nilai optimum parameter yang diinginkan.

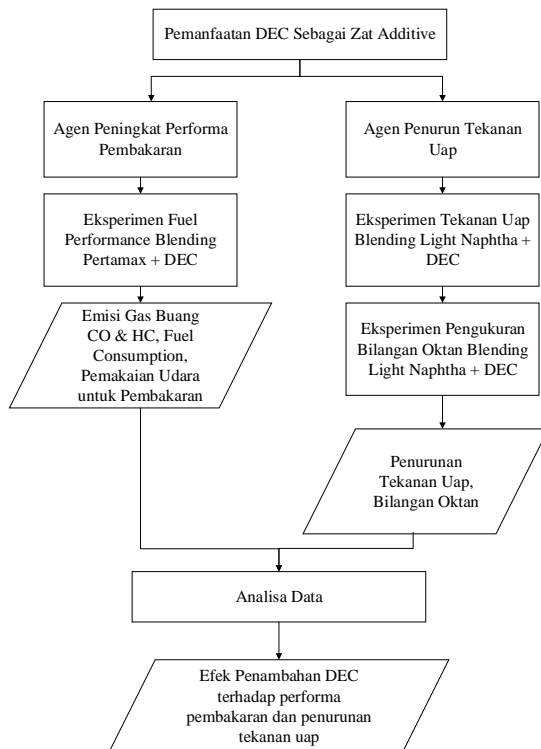
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Deskripsi Penelitian

Metode penelitian secara keseluruhan dapat ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian Keseluruhan



Pada penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan, pada tahapan pertama akan dilakukan eksperimen untuk mengetahui data *physical properties* (tekanan uap dan bilangan oktan) dari *light naphtha* murni dan campuran *light naphtha* + DEC. Pada tahap kedua, dilakukan eksperimen untuk mengetahui performa campuran bahan bakar *gasoline* + DEC dan aditif pembanding lain (DMC dan etanol). Data yang diperoleh, dari kedua tahapan penelitian ini akan dianalisa sehingga diperoleh komposisi campuran terbaik dengan nilai keekonomian yang optimum (*cost effective*) dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan di Indonesia.

### **III.1.1 Pemanfaatan DEC Sebagai Agen Penurun Tekanan Uap *Light Naphtha***

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penurunan tekanan uap *light naphtha* terhadap penambahan DEC (*Diethyl Carbonate*) serta menentukan komposisi penambahan DEC terbaik untuk memaksimalkan penurunan tekanan uap campuran. Data tekanan uap *light naphtha* dan data tekanan uap sistem biner *light naphtha* + DEC yang didapatkan dalam penelitian ini dapat digunakan dalam mendesain campuran bahan bakar *light naphtha* + DEC.

Penelitian ini menggunakan *ebulliometer* yang telah dikembangkan oleh Oktavian *et al.*, (2013) dan telah divalidasi

oleh Wibawa *et al.*, (2015). Pada penelitian ini, dilakukan validasi ulang dengan membandingkan tekanan uap senyawa murni secara eksperimen dengan hasil perhitungan yang menggunakan persamaan Antoine dengan parameter yang diperoleh dari literatur. Dalam penelitian ini juga dilakukan eksperimen pengukuran bilangan oktan dari campuran *light naphtha* + DEC sebagai salah satu *physical properties* dari campuran.

### **III.1.2 Pemanfaatan DEC Sebagai Agen Peningkat Performa Pembakaran Gasoline**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek dari penambahan DEC sebagai agen peningkatan performa pembakaran *gasoline* dan membandingkannya dengan aditif lain (etanol dan DMC) serta menentukan komposisi penambahan DEC terbaik untuk memaksimalkan performa pembakaran *gasoline*. Data emisi gas buang (CO dan HC), *fuel consumption*, dan pemakaian udara untuk pembakaran yang didapatkan dari percobaan ini dapat digunakan untuk menentukan campuran *gasoline* + DEC paling efisien dan terekonomis.

Pengujian dilakukan pada motor Honda CB150R dengan putaran mesin dan campuran bahan bakar yang bervariasi. Sedangkan untuk mengetahui kadar emisi gas

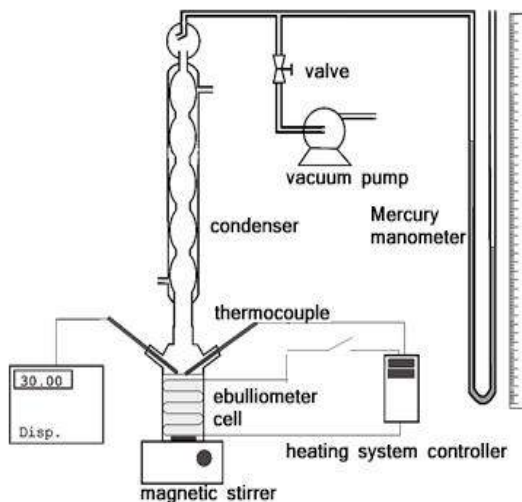
buang dilakukan pengujian dengan menggunakan *gas analyzer*. Proses pemasangan dan modifikasi dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB), Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

### **III.2. Peralatan Eksperimen**

Peralatan yang digunakan pada masing masing eksperimen adalah sebagai berikut:

#### **III.2.1 Peralatan Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran *Light Naphtha* + DEC**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *ebulliometer* statis sederhana. Detail peralatan ditunjukkan gambar 3.1. Peralatan ini memiliki bagian utama yaitu *Ebulliometer Cell*, satu buah kondensor untuk mengkondensasi uap, beberapa alat pelengkap seperti pompa vakum (*Value VG 140*) untuk mengatur tekanan operasi, *magnetic stirrer* sebagai pengaduk, Indikator perekam suhu (YOKOGAWA 7563) dan *Thermocouple* RTD Pt 100 (*Four-wire*) dengan akurasi  $\pm 0,01$  K, dan manometer raksa dengan akurasi  $\pm 0,5$  mmHg. *Ebulliometer* yang digunakan merupakan alat yang dikembangkan oleh Oktavian *et al.* (2013) dan divalidasi ulang oleh Wibawa *et al.* (2015) dimana perubahan komposisi awal tidak signifikan pada saat terjadi kesetimbangan.



**Gambar 3.2** Skema Alat *Ebulliometer* (Oktavian *et al.*, 2013 ; Wibawa *et al.*, 2015)

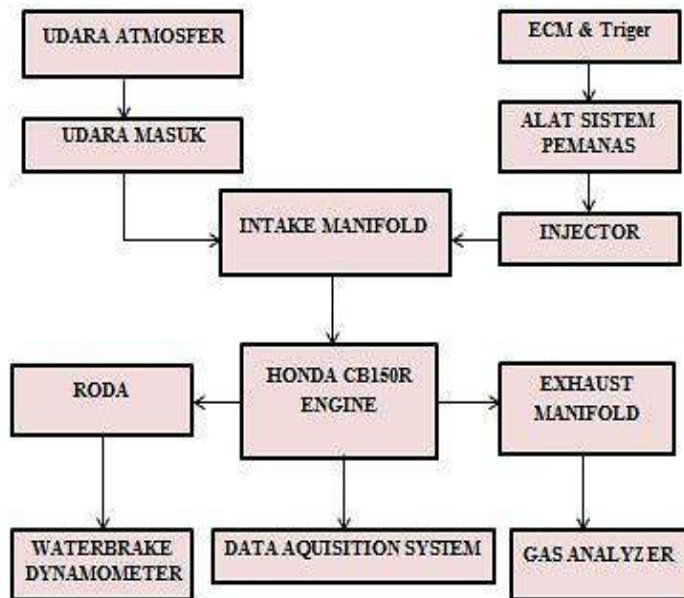
### III.2.2 Peralatan Eksperimen Uji Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar *Gasoline* + DEC

Pengujian dilakukan pada motor Honda CB150R dengan putaran mesin dan campuran bahan bakar yang bervariasi. Sedangkan untuk mengetahui kadar emisi gas buang dilakukan pengujian dengan menggunakan *gas analyzer*. Proses pemasangan dan modifikasi dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB), Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Hasil yang diharapkan dari eksperimen ini adalah untuk memperoleh data emisi gas buang (CO dan HC), *fuel*

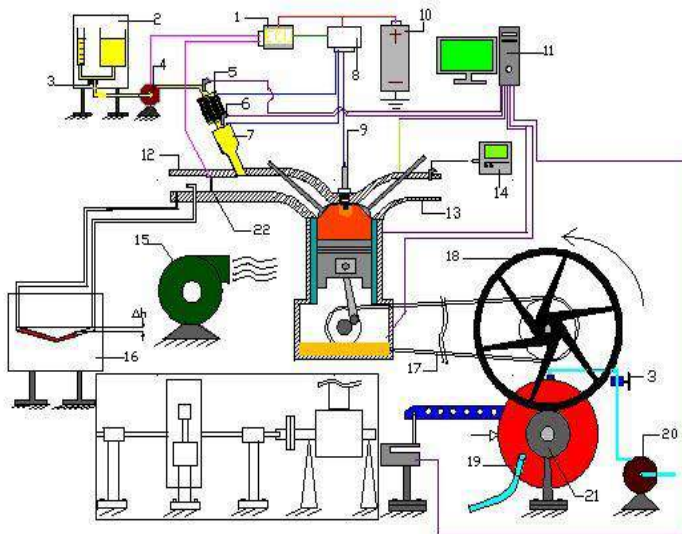
*consumption*, dan pemakaian udara untuk pembakaran.

Penelitian ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu:

1. Kelompok kontrol adalah motor bensin standar yang menggunakan bahan bakar pertamax.
2. Kelompok uji adalah motor bensin dengan menggunakan bahan bakar campuran.



**Gambar 3.3** Skema proses pengujian motor Honda CB150R



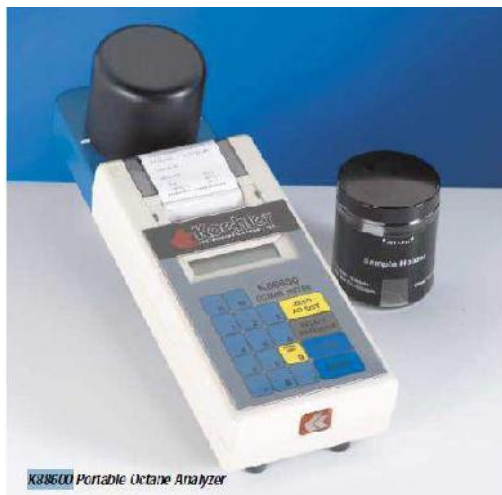
- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| 1. ECM               | 12. Intake manifold        |
| 2. Meja gelas ukur   | 13. Exhaust manifold       |
| 3. Valve             | 14. Gas Analyzer           |
| 4. Pompa bahan bakar | 15. Blower                 |
| 5. Heater            | 16. Meja V-manometer       |
| 6. Termokopel        | 17. Chain                  |
| 7. Injektor          | 18. Roda                   |
| 8. Triger            | 19. Waterbrake dynamometer |
| 9. Busi              | 20. Pompa Air              |
| 10. Baterai          | 21. Roller                 |
| 11. Komputer         | 22. Katup kupu-kupu        |

**Gambar 3.4** Skema alat uji motor Honda CB150R

Gambar 3.3 dan 3.4 menunjukkan diagram alir dan proses pengujian performa bahan bakar dan pengukuran emisi pada gas buang.

### III.2.3 Peralatan Eksperimen Pengukuran Bilangan Oktan Campuran *Light Naphtha* + DEC

Pengukuran bilangan oktan dilakukan dengan menggunakan alat KOEHLER K88600 yang dikembangkan oleh perusahaan KOEHLER *Instrumentation*. Alat ini diklaim menghasilkan hasil pengujian yang sama jika dibandingkan dengan pengujian dengan ASTM D-2699 yang dikembangkan oleh ASTM *International*.



**Gambar 3.5 Alat Uji KOEHLER K88600**

(KOEHLER, 2009)

Alat KOEHLER K88600 menggunakan prinsip kerja spektrofotometri yang dilengkapi 14 diode pemancar sinar inframerah dekat (NIR) yang dihubungkan dengan detektor

silikon dan *microprocessor* untuk mengukur bilangan oktan dari suatu larutan.

### III.3 Bahan Eksperimen

Bahan-bahan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *light naphtha* yang PT. PERTAMINA PERSERO, *Gasoline* dengan jenis PERTAMAX, dan DEC p.a dengan kemurnian 99,92% yang disuplai dari WUHAN FORTUNA CHEMICALS, DMC p.a dengan kemurnian 99.5% yang disuplai dari WUHAN FORTUNA CHEMICALS, Etanol p.a dengan kemurnian 99.7% yang disuplai oleh PT. Smart Lab Indonesia.

### III.4 Variabel Eksperimen

Variabel dalam eksperimen pemanfaatan DEC sebagai agen penurun tekanan uap adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Variabel Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap  
Campuran *Light Naphtha* + DEC

No	Suhu (°C)	%vol <sub>1</sub>	%vol <sub>2</sub>
1	30	1	0
2		0.9	0.1
3		0.8	0.2
4		0.7	0.3
5		0.6	0.4
6		0.5	0.5



No	Suhu (°C)	%vol <sub>1</sub>	%vol <sub>2</sub>
7	35	1	0
8		0.9	0.1
9		0.8	0.2
10		0.7	0.3
11		0.6	0.4
12		0.5	0.5
13	40	1	0
14		0.9	0.1
15		0.8	0.2
16		0.7	0.3
17		0.6	0.4
18		0.5	0.5
19	45	1	0
20		0.9	0.1
21		0.8	0.2
22		0.7	0.3
23		0.6	0.4
24		0.5	0.5

Keterangan :    %vol<sub>1</sub> : fraksi volume *light naphtha*

                      %vol<sub>2</sub> : fraksi volume DEC

Sedangkan untuk eksperimen pemanfaatan DEC sebagai agen peningkat performa pembakaran *gasoline*, variable yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Variabel Eksperimen Uji Performa Pembakaran  
Campuran Bahan Bakar *Gasoline* + DEC

No	X1	X2	X3	X4
1	1	0	0	0
2	0.95	0.05	0	0
3	0.90	0.1	0	0
4	0.85	0.15	0	0
5	0.95	0	0.05	0
6	0.90	0	0.1	0
7	0.85	0	0.15	0
8	0.95	0	0	0.05
9	0.90	0	0	0.1
10	0.85	0	0	0.15

Keterangan:

X1 = Fraksi Volume *Gasoline*    X3 = Fraksi Volume DMC

X2 = Fraksi Volume Etanol    X4 = Fraksi Volume DEC

### **III.5 Prosedur Eksperimen**

Prosedur percobaan-percobaan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

#### **III.5.1 Prosedur Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran *Light Naphtha* + DEC**

Prosedur pengujian merupakan rangkaian tahapan yang harus dilakukan mulai dari persiapan sampai selesainya pengujian. Adapun prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

- **Persiapan Pengujian**
  - a. Memeriksa kondisi alat *ebulliometer* untuk memastikan alat siap untuk digunakan dan telah bersih dari pengotor yang mungkin ada di dalam alat.
  - b. Memeriksa kesiapan alat-alat ukur.
  - c. Mempersiapkan tabel dan alat tulis untuk pengambilan data.
- **Pengujian Tekanan Uap Campuran *Light Naphtha* + DEC**
  - a. Penelitian ini diawali dengan memasukkan campuran dengan komposisi tertentu dengan volume 200 mL ke dalam *ebulliometer cell*. *Blower* dihidupkan.
  - b. Mengatur kondisi tekanan vakum dengan menggunakan pompa vakum.

- c. Menyalakan *magnetic stirrer* yang bertujuan untuk mengaduk larutan agar campuran merata dan kondensor harus dialiri air terlebih dahulu.
- d. Memanaskan larutan dengan menggunakan sistem pemanas yang mengakibatkan sebagian liquid menguap dan selanjutnya uap akan masuk ke kondensor
- e. Membaca suhu yang tertera pada termokopel (2) dan membaca tekanan terbaca pada manometer raksa saat raksa telah konstan.

### **III.5.2 Prosedur Uji Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar Gasoline + DEC**

Prosedur pengujian merupakan rangkaian tahapan yang harus dilakukan mulai dari persiapan sampai selesainya pengujian. Adapun prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

- **Persiapan Pengujian**

- a. Memeriksa kondisi kesiapan mesin yang meliputi kondisi fisik mesin, sistem pelumasan, sistem pendingin, sistem bahan bakar, sistem udara masuk, pemanas dan sistem kelistrikan. Melakukan modifikasi mesin Honda CB150R dengan merubah

rasio kompresi menjadi 11 dan memasang pemanas bahan bakar.

- b. Mengontrol sistem pemanas apakah mampu berjalan dengan baik.
- c. Memeriksa kesiapan alat-alat ukur.
- d. Mempersiapkan tabel dan alat tulis untuk pengambilan data.
- e. Memeriksa sistem pembebanan *water brake dynamometer test*.
- f. Mempersiapkan laptop untuk menangkap sinyal data dari ECU *programable*.

- **Pengujian *Engine* dengan Menggunakan ECU Standar Berbahan Bakar Pertamina**

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 3000 rpm hingga 8000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan mekanis pada poros *water brake dynamometer* yang terkopel dengan poros *roller* yang digerakkan oleh ban roda belakang sepeda motor Honda CB150R. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar:

- a. Menghidupkan mesin Honda CB150R pada putaran *idle* (1000 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
- b. *Blower* dihidupkan.
- c. Menjalankan mesin dengan melakukan pemindahan gigi transmisi dari gigi 1 hingga gigi maksimum yaitu gigi 6, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*fully open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 11000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda CB150R. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *water brake dynamometer*.
- d. Pemberian beban *water brake dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 3000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
- e. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros *water brake dynamometer* (rpm), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar pertamax (sekon), emisi CO (% volume), emisi HC (ppm volume), dan pemakaian udara untuk pembakaran.

- **Pengujian Engine dengan Menggunakan ECU Programable Berbahan Bakar Campuran.**

Pengujian *engine* dengan bahan bakar campuran pertamax + DEC dan aditif pembanding lain (etanol dan DMC) ini dilakukan dengan rasio kompresi yang ditentukan yaitu rasio kompresi sebesar 11 dan mapping durasi injeksi terbaik. Melakukan variasi campuran bahan bakar untuk pengujian unjuk kerjanya. Adapun tahap dari pengujian *engine* yaitu:

- a. Menambahkan ECU *programable* untuk kebutuhan mesin Honda CB150R.
- b. Pemanas dijalankan.
- c. Menghidupkan mesin dengan kondisi putaran *idle* 1000 rpm menggunakan bahan bakar campuran selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state*.
- d. *Blower* dihidupkan.
- e. Menjalankan mesin dengan melakukan pemindahan gigi transmisi dari gigi 1 hingga gigi maksimum yaitu gigi 6, kemudian membuka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*fully open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 11000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda

CB150R. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *water brake dynamometer*.

- f. Pembebanan *water brake dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 3000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
- g. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros *water brake dynamometer* (rpm), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar campuran (sekon), emisi CO (% volume), emisi HC (ppm volume), dan pemakaian udara untuk pembakaran.
- h. Mengulangi langkah 6 dengan variasi temperatur bahan bakar masukan dari injektor mulai 60°C sampai 80°C ber-interval 10°C kemudian mengulangi langkah 7.
- i. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada langkah 7. Dan harus diingat bahwa pencatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.



### **III.5.2 Prosedur Pengujian Bilangan Oktan Blending Light Naphta + DEC**

Prosedur pengujian merupakan rangkaian tahapan yang harus dilakukan mulai dari persiapan sampai selesainya pengujian. Adapun prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

- **Persiapan Pengujian**
  - a. Memastikan alat KOEHLER K88600 siap digunakan.
  - b. Menyiapkan larutan kalibrasi (isooktana murni) dan larutan uji
- **Pengujian Bilangan Oktan dengan alat KOEHLER K88600**

Percobaan ini dilakukan pada larutan uji yang merupakan campuran *light naphtha* + DEC dengan variable penambahan DEC dari 0-50% volume dengan interval 10%. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian:

- a. Menyalakan alat pengukur bilangan oktan KOEHLER K88600.
- b. Mengkalibrasi alat KOEHLER K88600 dengan menggunakan larutan isooktane murni sehingga didapatkan nilai oktan kalibrasi.

- c. Memasukan larutan uji ke dalam alat KOEHLER K88600 sebanyak 250 ml.
- d. Melakukan pengukuran dengan menekan tombol mulai sehingga didapatkan bilangan oktan larutan uji.
- e. Mengulang langkah b-d untuk variabel larutan uji yang lain.

### **III.6 Data Treatment Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran *Light Naphtha* + DEC**

Dari eksperimen ini, diperoleh data, yaitu  $x_i$  (molar fraksi komponen  $i$  dalam fase *liquid*),  $P$  (tekanan sistem), dan  $T$  (suhu sistem). Berdasarkan validasi alat, diperoleh juga tekanan uap murni komponen,  $P_i^{sat}$ . Selanjutnya data eksperimen tersebut dikorelasikan dengan persamaan Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard. Korelasi diawali dengan memprediksi parameter-parameter pada masing-masing persamaan. Dari parameter-parameter yang diprediksi tersebut, selanjutnya dihitung koefisien aktifitas,  $\gamma_i$ , dengan persamaan Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard. Nilai  $\gamma_i$  kemudian digunakan untuk menghitung tekanan uap korelasi. Kemudian dihitung *Average Absolute Deviation* (AAD) antara tekanan uap eksperimen dengan tekanan uap korelasi. Dengan metode GRG (*Generalized Reduced Gradient*) nonlinear, nilai *objective function*, OF =

$\sum_{i=1}^n (P_{i,cal} - P_{i,exp})^2$  diminimalkan dengan mengubah nilai parameter-parameter model korelasi. Sehingga diperoleh parameter-parameter dengan AAD terkecil masing-masing untuk korelasi model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard.

### **III.7 Estimasi Ketidakpastian pada Eksperimen**

Ketidakpastian data hasil eksperimen pada penelitian ini bersumber dari keterbatasan *readability* peralatan dan ketidakpastian pengukuran. Ketelitian pembacaan temperatur berasal dari ketidakpastian indikator perekam suhu (YOKOGAWA 7563) dan RTD Pt 100 (*four-wire*), yang memiliki ketelitian sebesar  $\pm 0,05$  K, Ketidakpastian data tekanan berasal dari ketelitian pembacaan manometer raksa, yaitu  $\pm 0,5$  mmHg. Ketelitian pembacaan massa pada neraca analitis OHAUS *Analytical Plus* AP210 dengan ketelitian  $\pm 0,0001$  g.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini telah dilakukan studi untuk mengetahui performa DEC dalam menurunkan tekanan uap dari *light naphtha* dan performa DEC sebagai agen peningkat performa pembakaran dari *gasoline*.

#### **IV.1 Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Campuran *Light Naphtha* + DEC**

##### **IV.1.1 Validasi alat**

Eksperimen pengukuran tekanan uap sistem campuran *light naphtha* + DEC diawali dengan melakukan validasi alat *ebulliometer* untuk mengetahui kelayakan alat untuk mengukur tekanan uap. Validasi dilakukan dengan mengukur tekanan uap etanol, aseton dan dietil karbonat (DEC) dan membandingkannya dengan data dari literatur. Tekanan uap murni literatur etanol dan aseton dihitung menggunakan persamaan (4-1), yaitu persamaan Antoine (Poling *et al.*, 1986). Sedangkan tekanan uap murni literatur DEC dihitung menggunakan persamaan (4-2), yaitu persamaan Antoine (Luo *et al.*, 2000). Konstanta Antoine untuk komponen murni etanol dan aseton diperoleh dari Poling *et al.* (1986) dan konstanta Antoine untuk DEC diperoleh dari Luo *et al.* (2000).

$$\log_{10} P_{vp} (bar) = A - \frac{B}{T(K) + C - 273,15} \quad (4.1)$$

$$\log_{10} P_{vp} (kPa) = A - \frac{B}{T(K) + C} \quad (4.2)$$

**Tabel 4.1** Konstanta untuk Perhitungan Tekanan Uap Etanol, Aseton dan DEC (<sup>a</sup>Poling *et al.*, 1986 ; <sup>b</sup>Luo *et al.*, 2000)

Komponen	A	B	C
Ethanol <sup>[a]</sup>	5.33675	1648.22	230.918
Aseton <sup>[a]</sup>	4.2184	1197.01	228.06
DEC <sup>[b]</sup>	5.883	1223.77	-84.304

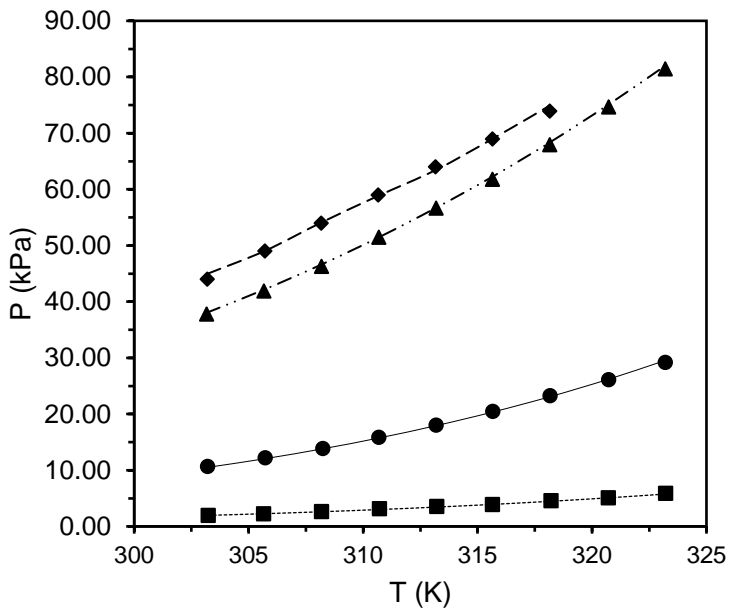
Data hasil eksperimen dibandingkan dengan data hasil perhitungan persamaan Antoine berdasarkan persamaan *Average Absolute Deviation* (AAD) berikut:

$$AAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{lit} - P_{exp}}{P_{lit}} \times 100\% \right| \quad (4.3)$$

Dimana  $P_{exp}$  adalah tekanan uap yang dipoleh dari eksperimen sedangkan  $P_{lit}$  adalah tekanan uap yang diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan Antoine dan  $n$  adalah jumlah dari data. Nilai perbandingan tekanan uap literatur dan hasil eksperimen untuk senyawa etanol, aseton, dan DEC beserta AAD-nya ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Tekanan Uap Murni Etanol, Aseton, dan DEC

$T$ (K)	Etanol		DEC		Aseton	
	$P_{exp}$ (kPa)	$P_{lit}$ (kPa)	$P_{exp}$ (kPa)	$P_{lit}$ (kPa)	$P_{exp}$ (kPa)	$P_{lit}$ (kPa)
303,15	10.65	10.51	1.98	1.96	37.82	38.03
305.65	12.21	12.06	2.24	2.26	41.92	42.15
308,15	13.87	13.82	2.62	2.61	46.29	46.62
310.65	15.85	15.75	3.13	3.00	51.45	51.47
313,15	18.01	17.94	3.53	3.44	56.64	56.73
315.65	20.49	20.37	3.92	3.92	61.81	62.26
318,15	23.25	23.10	4.57	4.48	67.93	68.37
320.65	26.13	26.21	5.11	5.09	74.68	75.12
323,15	29.19	29.55	5.89	5.77	81.46	82.04
	<b>AAD = 0.76%</b>		<b>AAD = 1.48%</b>		<b>AAD = 0.51%</b>	



**Gambar 4.1** Perbandingan Tekanan Uap Murni Hasil Eksperimen Etanol (●), Aseton (▲), DEC (■) ; *Light Naphtha* (◆) dengan Data Literatur Etanol (—) ; Aseton (---) ; DEC (.....) ; *Light Naphtha* (----)

Berdasarkan data hasil eksperimen dan perhitungan, nilai AAD yang diperoleh sebesar 0,76% untuk etanol, 0,51% untuk aseton dan 1,48% untuk DEC. Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan antara tekanan uap murni hasil eksperimen dan literatur. AAD sistem DEC bernilai paling besar kemudian diikuti oleh etanol dan aseton yang memiliki nilai AAD terkecil. Hal ini

dikarenakan tekanan uap DEC bernilai paling rendah dibandingkan kedua senyawa lainnya, dan tekanan uap ethanol lebih rendah dibanding aseton. Sehingga perbedaan tekanan uap yang sedikit akan menghasilkan nilai AAD yang besar karena pembandingnya rendah. Dengan kecilnya nilai AAD yang diperoleh untuk zat murni yang diukur, maka alat *ebulliometer* yang digunakan untuk mengukur tekanan uap pada eksperimen dapat diandalkan untuk memperoleh hasil yang akurat

#### **IV.1.2 Data Eksperimen Pengukuran Tekanan Uap Sistem**

##### **Biner *Light Naphtha* (1) + DEC (2)**

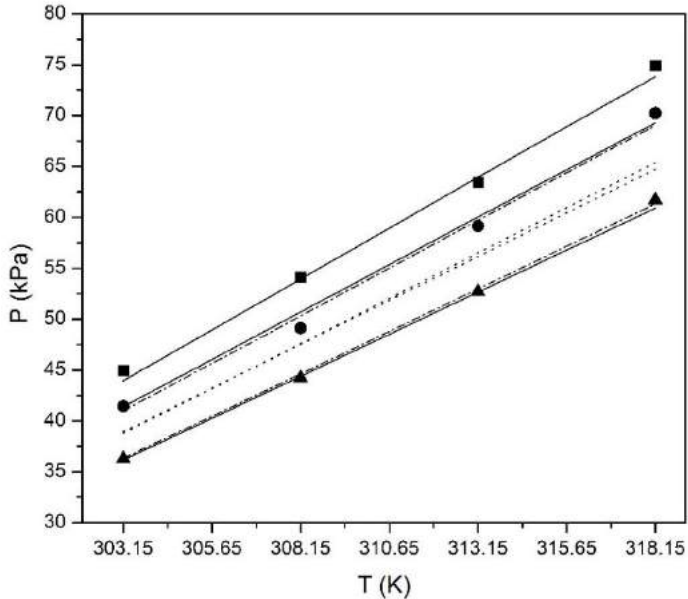
Eksperimen ini dilakukan dengan cara mengukur tekanan uap campuran pada kondisi setimbang (*equilibrium*) dengan variabel fraksi volume *light naphtha* sebesar 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 dan 1,0 dan variabel suhu 303,15 K – 318,15 K. Tabel 4.3 menunjukkan data hasil eksperimen tekanan uap sistem biner *light naphtha* (1) + DEC (2) pada berbagai suhu sebagai berikut :



**Tabel 4.3** Data Eksperimen Tekanan Uap Sistem *Light Naphtha* (1)  
+ DEC (2)

$v_l$	$P/\text{kPa}$			
	$303,15\text{ K}$	$308,15\text{ K}$	$313,15\text{ K}$	$318,15\text{ K}$
1	44.96	54.09	63.44	74.91
0.9	44.07	53.31	62.12	73.46
0,8	42.84	51.21	60.91	72.09
0,7	41.44	49.12	59.15	70.25
0,6	39.65	46.91	56.79	66.94
0,5	36.29	44.23	52.71	61.71
0	1.98	2.62	3.53	4.57

Pada setiap variabel suhu, terlihat bahwa tekanan uap campuran mengalami penurunan dengan bertambahnya komposisi dari DEC. Tekanan uap campuran berada diantara tekanan uap murni masing-masing komponennya seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3. Hal ini disebabkan DEC memiliki tekanan uap yang rendah sehingga dapat menurunkan tekanan uap *light naphtha* saat dicampurkan. DEC juga telah diketahui tidak membentuk titik *azeotrope* dengan beberapa hidrokarbon utama seperti isooktana, n-heptana, dan toluena (Anugraha dkk, 2017). Hal ini di karenakan interaksi yang terjadi antara DEC dan *light naphtha* tidak terlalu kuat sehingga tidak ada tekanan ekstrim campuran.



**Gambar 4.2** Grafik P-T untuk Sistem Biner *Light Naphtha* (1) + DEC (2) pada  $x_{vl} = 1$  (■) ;  $x_{vl} = 0.7$  (●) ;  $x_{vl} = 0.5$  (▲). Hasil Perhitungan dengan Model Wilson (—) NRTL (---) ; Hildebrand and Scatchard (---)

Efek dari penambahan DEC terhadap tekanan uap *light naphtha* pada berbagai temperatur ditunjukkan pada gambar 4.2. Peningkatan suhu sistem menyebabkan kenaikan tekanan uap campuran pada sistem tersebut. Semakin banyaknya komposisi DEC dalam campuran memberikan penurunan tekanan uap yang semakin besar. Sebagai contoh pada penambahan DEC sebanyak 30% vol ( $x_{vl} = 0.7$ ), dapat menurunkan tekanan uap dari *light*

*naphtha* secara signifikan yaitu sebesar 7.4% rata-rata terhadap tekanan uap *light naphtha* murni. Dimana pada penambahan ini, tekanan uap dari campuran *light naphtha* + DEC sudah memenuhi standar tekanan uap dari *gasoline* yaitu maksimum 60 kPa (ASTM D4814). Sedangkan saat penambahan DEC 50% vol ( $x_{v1} = 0.5$ ), penurunan tekanan uap campuran menunjukkan angka yang sangat signifikan yaitu sebesar 17.7% rata-rata. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, penambahan DEC 30% ( $x_{v1} = 0.7$ ) cukup untuk menurunkan tekanan uap campuran untuk menyesuaikan dengan standar tekanan uap dari *gasoline*.

#### **IV.1.3 Analisa Pseudo-Biner**

*Light naphtha* merupakan larutan yang terdiri dari campuran komponen hidrokarbon seperti hidrokarbon alifatik, siklik, dan aromatik. Hal ini menyebabkan *light naphtha* sulit untuk dikorelasikan dengan model termodinamika. Oleh karenanya, dilakukan sebuah pendekatan yaitu dengan mengasumsikan *light naphtha* sebagai *pseudo component* (komponen semu). Dengan menganggap *light naphtha* sebagai komponen murni, maka dihasilkan parameter Antoine berdasarkan pengukuran tekanan uap hasil eksperimen *light naphtha* yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Perbandingan antara data tekanan uap hasil eksperimen dan perhitungan menggunakan parameter Antoine komponen *light naphtha* ditampilkan pada gambar 4.1

**Tabel 4.4** Parameter Antoine *Light Naphtha*

Komponen	A	B	C	AAD
Light naphtha	2.611	47.668	-253.891	0.63%

Data tekanan uap campuran biner *light naphtha* + DEC yang diperoleh kemudian ditreatmen berdasarkan kriteria isofugasitas kesetimbangan fasa dimana fugasitas komponen dalam fasa uap dan fasa liquid bernilai sama yang dapat dituliskan pada persamaan berikut ini :

$$\hat{f}_i^L = \hat{f}_i^V \quad (2.1)$$

Fugasitas fasa uap dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\hat{f}_i^V = y_i \hat{\phi}_i P \quad (2.2)$$

dimana  $y_i$  adalah fraksi mol pada fase uap dan  $P$  adalah tekanan pada fase kesetimbangan.

Data eksperimen sistem biner *light naphtha* (1) + DEC (2) menunjukkan tekanan uap campuran berkisar diantara 35–75 kPa (0,35 – 0,75 atm) dimana hal tersebut menandakan sistem berada pada tekanan yang rendah ( $< 1$  atm). Sehingga fase uap mengikuti perilaku dari gas ideal.

Berdasarkan kondisi ini, fugasitas liquid dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\hat{f}_i^L = \gamma_i x_i P_i^{sat} \quad (2.5)$$

dimana  $x_i$  adalah fraksi mol komponen dalam fasa cair,  $\gamma_i$  adalah koefisien aktivitas dari komponen dan  $P_i^{sat}$  adalah tekanan uap dari komponen murni. Pada tekanan rendah fasa gas diasumsikan mengikuti kelakuan gas ideal maka:

$$\hat{\phi}_i = 1 \quad (2.6)$$

Sehingga dari persamaan (2.1), (2.2), dan (2.5) perhitungan tekanan uap campuran menggunakan persamaan :

$$P = \sum x_i \gamma_i P_i^{sat} \quad (2.16)$$

Koefisien aktifitas untuk setiap komponen kemudian dikorelasikan dengan model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard. Model Wilson dan NRTL dipilih karena telah banyak digunakan untuk mengkorelasikan data tekanan uap eksperimen campuran non-elektrolit pada kondisi tekanan rendah. Sedangkan model Hildebrand and Scatchard dipilih karena model ini telah digunakan oleh Li *et al.* (2009) untuk mengkorelasikan data hasil eksperimen tekanan uap dari campuran bahan bakar umum. Dengan mengkorelasikan data eksperimen, akan didapatkan parameter biner dari model-model tersebut sehingga dapat memprediksi secara akurat tekanan uap campuran pada kondisi yang berbeda.

Nilai parameter-parameter sistem *light naphtha* (1) + DEC (2) pada setiap model didapatkan dengan menggunakan metode Barker untuk sistem yang diuji yaitu dengan meminimalkan *objective function* berikut ini:

$$OF = \sum_{i=1}^n (P_{i,cal} - P_{i,exp})^2 \quad (4.4)$$

*Average absolute deviation* (AAD) antara data tekanan uap hasil eksperimen dan kalkulasi digunakan untuk mengevaluasi parameter-parameter yang diperoleh untuk setiap model yang digunakan, dimana:

$$AAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{cal} - P_{exp}}{P_{exp}} \times 100\% \right| \quad (3.1)$$

Berikut merupakan parameter masing – masing persamaan korelasi:

#### Persamaan Wilson

$$\Lambda_{12} = \frac{V_2}{V_1} \exp \frac{-a_{12}}{RT}; \Lambda_{12} = \frac{V_2}{V_1} \exp \frac{-a_{12}}{RT} \quad (4.5)$$

#### Persamaan NRTL

$$\tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT}; \tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT}; \alpha_{12} \quad (4.6)$$

#### Persamaan Hildebrand and Scatchard

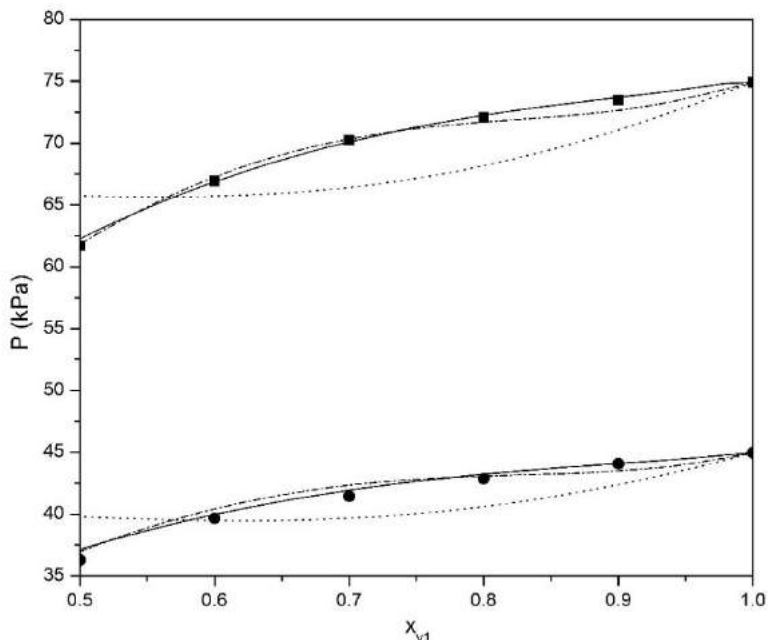
$$l_{12} = l_{21} = l_0 + \alpha_0 \exp\left(\frac{\alpha_0 - T/T_0}{\alpha_{21}}\right) \quad (4.7)$$

Nilai parameter – parameter terbaik untuk setiap model korelasi untuk sistem yang dipelajari beserta AAD disajikan dalam tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Parameter dan Hasil Korelasi Model Wilson, NRTL, Hildebrand and Scatchard pada Sistem Biner *Light Naphtha* (1) + DEC (2)

Korelasi	Parameter		AAD
Wilson	$a_{12} =$	131.50 J/mol	0.9%
	$a_{21} =$	7745.00 J/mol	
NRTL	$b_{12} =$	8026.62 J/mol	1.2%
	$b_{21} =$	-1428.23 J/mol	
	$\alpha =$	0.3	
Hildebrand	$l_0 =$	0.046	4.4%
and	$\alpha_0 =$	6050.535	
Scatchard	$\alpha_1 =$	0.796	
	$\alpha_2 =$	0.007	

Setiap model yang digunakan memberikan akurasi yang berbeda terhadap data eksperimen yang dibuktikan oleh nilai AAD. Berdasarkan Tabel 4.5, nilai AAD yang didapatkan dengan menggunakan model Wilson sebesar 0.9% diikuti dengan model NRTL sebesar 1,2% dan yang terbesar adalah model Hildebrand and Scatchard dengan nilai AAD 4.4%.



**Gambar 4.3** Grafik  $P$ - $x_{v1}$  Sistem Biner *Light Naphtha* (1) + DEC (2) pada suhu 303.15 K (●) dan 318.15 K (■). Perhitungan Menggunakan Model Wilson (—) ; NRTL (---) ; Hildebrand and Scatchard (---)

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan antara model korelasi yang digunakan. Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa model korelasi Wilson memiliki perbedaan yang cukup signifikan terhadap model Hildebrand and Scatchard dilihat dari grafik korelasi yang dihasilkan. Namun perbedaan antara model Wilson dan NRTL tidak begitu signifikan. Hal ini dikarenakan model



Hildebrand and Scatchard lebih cocok digunakan untuk sistem larutan non-polar (Prausnitz, 1958). Sedangkan, pada eksperimen ini digunakan larutan yang bersifat polar yaitu DEC (Prausnitz, 1958).

Persamaan Wilson dan NRTL mengacu pada konsep local composition untuk liquid-solution dimana komposisi lokal berbeda dengan komposisi campuran secara keseluruhan yang dihasilkan dari perbedaan ukuran molekul dan gaya intermolekuler. Sedangkan model regular solution Hildebrand and Scatchard dikembangkan berdasarkan solubility parameter yang hanya mempertimbangkan gaya dispersi antar unit struktural dalam perhitungan entalpi pencampuran (Wibawa et al, 2009). Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan yang cukup signifikan antara model Hildebrand and Scatchard dengan model Wilson dan NRTL. Sehingga untuk sistem *light naphtha* (1) + DEC (2), model Wilson memberikan parameter dengan hasil yang paling baik dibandingkan dengan parameter lainnya.

Data hasil perhitungan koefisien aktifitas untuk setiap komponen dengan menggunakan model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard pada sistem biner *light naphtha* (1) + DEC (2) disajikan dalam Tabel 4.6, Tabel 4.7, dan Tabel 4.8.

**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan dengan Model Wilson Sistem Biner*Light Naphtha (1) + DEC (2)*

$x_1$	$T = 303,15\text{ K}$			$T = 308,15\text{ K}$		
	$\gamma_{1\text{korelasi}}$	$\gamma_{2\text{korelasi}}$	$P_{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_{1\text{korelasi}}$	$\gamma_{2\text{korelasi}}$	$P_{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	44.958	1,000	—	54.090
0.899	1.071	4.027	44.082	1.070	3.989	53.063
0.797	1.180	2.297	43.224	1.178	2.293	52.027
0.697	1.306	1.693	41.925	1.303	1.691	50.465
0.596	1.449	1.397	39.963	1.446	1.397	48.112
0.496	1.611	1.229	37.151	1.607	1.229	44.743
0	—	1.000	1.976	—	1.000	2.620

$x_1$	$T = 313,15\text{ K}$			$T = 318,15\text{ K}$		
	$\gamma_{1\text{korelasi}}$	$\gamma_{2\text{korelasi}}$	$P_{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_{1\text{korelasi}}$	$\gamma_{2\text{korelasi}}$	$P_{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	63.440	1,000	—	74.910
0.899	1.069	3.968	62.342	1.067	3.947	73.685
0.797	1.176	2.289	61.127	1.174	2.284	72.241
0.697	1.301	1.690	59.305	1.298	1.688	70.093
0.596	1.443	1.396	56.564	1.439	1.395	66.871
0.496	1.603	1.228	52.638	1.599	1.228	62.260
0	—	1.000	3.532	—	1,000	4.574

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan dengan Model NRTL Sistem Biner*Light Naphtha* (1) + DEC (2)

$x_1$	$T = 303,15\text{ K}$			$T = 308,15\text{ K}$		
	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	44.958	1,000	—	54.090
0.899	1.057	3.979	43.486	1.056	3.931	52.361
0.797	1.177	2.136	43.069	1.174	2.140	51.766
0.697	1.323	1.505	42.327	1.317	1.512	50.844
0.596	1.473	1.233	40.374	1.467	1.239	48.521
0.496	1.609	1.107	36.980	1.604	1.112	44.507
0	—	1,000	1.976	—	1,000	2.620

$x_1$	$T = 313,15\text{ K}$			$T = 318,15\text{ K}$		
	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	63.440	1,000	—	74.910
0.899	1.054	3.898	61.504	1.053	3.866	72.679
0.797	1.170	2.144	60.736	1.167	2.147	71.690
0.697	1.312	1.519	59.622	1.307	1.526	70.334
0.596	1.462	1.244	56.934	1.456	1.249	67.192
0.496	1.602	1.115	52.315	1.594	1.119	61.828
0	—	1,000	3.532	—	1,000	4.574

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan dengan Model Hildebrand and Scatchard Sistem Biner *Light Naphtha* (1) + DEC (2)

$x_1$	$T = 303,15\text{ K}$			$T = 308,15\text{ K}$		
	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	44.958	1,000	—	54.090
0.899	1.021	5.467	42.354	1.021	5.316	51.034
0.797	1.088	3.833	40.541	1.086	3.750	48.855
0.697	1.209	2.801	39.551	1.205	2.754	47.613
0.596	1.402	2.133	39.288	1.394	2.107	47.200
0.496	1.697	1.694	39.533	1.682	1.679	47.354
0	—	1,000	1.976	—	1,000	2.613

$x_1$	$T = 313,15\text{ K}$			$T = 318,15\text{ K}$		
	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$	$\gamma_1^{\text{korelasi}}$	$\gamma_2^{\text{korelasi}}$	$P^{\text{korelasi/kPa}}$
1	1,000	—	63.440	1,000	—	74.910
0.899	1.021	5.174	60.032	1.020	5.024	71.015
0.797	1.085	3.671	57.518	1.084	3.596	68.065
0.697	1.202	2.710	56.018	1.198	2.667	66.236
0.596	1.387	2.082	55.431	1.380	2.058	65.426
0.496	1.668	1.665	55.462	1.655	1.652	65.295
0	—	1,000	3.532	—	1,000	4.574

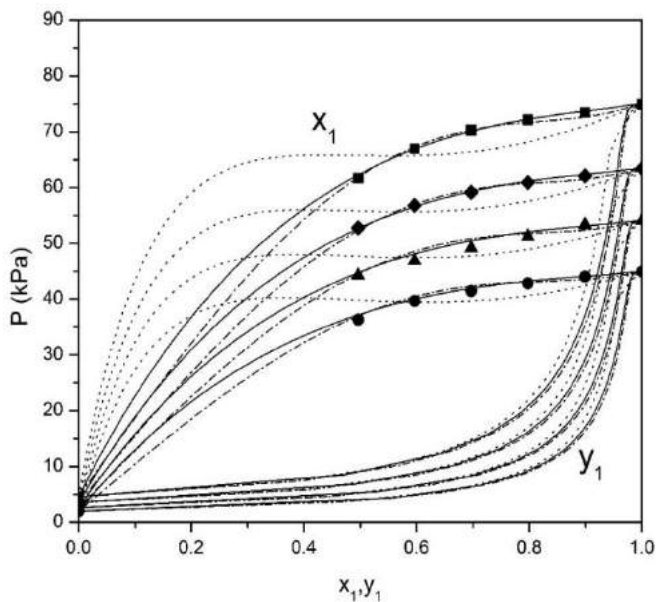
Hasil perhitungan koefisien aktifitas,  $\gamma_i$ , menggunakan model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard pada sistem biner *light naphtha* (1) + DEC (2) pada tabel 4.6, tabel 4.7, dan tabel 4.8 diperoleh nilai  $\gamma_i \geq 1$  dimana pada kondisi tersebut, fase *liquid* berada pada kondisi tidak ideal. Sistem biner *light naphtha*

(1) + DEC (2) menunjukkan deviasi positif terhadap hukum Raoult karena tekanan uap data eksperimen lebih tinggi daripada tekanan uap hasil perhitungan dengan menggunakan hukum Raoult (Smith et al., 2001). Selain itu, dari data hasil perhitungan diperoleh aktifitas koefisien suatu komponen dalam larutan menghasilkan nilai 1 saat komponen tersebut menjadi murni.

Peralatan yang digunakan pada eksperimen ini merupakan peralatan pengukuran kesetimbangan uap cair sederhana yang dikembangkan oleh Oktavian *et al.* (2013) dengan konsep tidak terjadi perubahan komposisi awal larutan dengan komposisi larutan saat setimbang, sehingga tidak memerlukan analisa komposisi larutan pada saat kesetimbangan. Selain itu, komposisi uap saat setimbang tidak dapat dianalisa. Sehingga fraksi mol fasa uap dapat diperoleh berdasarkan konsep kesetimbangan dengan menggunakan nilai koefisien aktivitas yang diperoleh dari model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard yang kemudian dihitung dengan persamaan :

$$y_i = \frac{x_i \gamma_i P_i^{sat}}{P} \quad (4.7)$$

Hasil perhitungan setiap nilai  $y_1$  selanjutnya di plot terhadap tekanan uap masing-masing korelasi bersamaan dengan  $x_1$ , seperti pada Gambar 4.4.

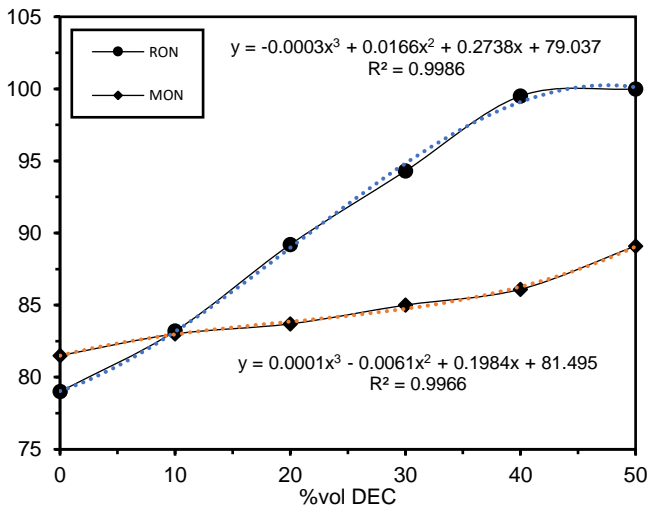


**Gambar 4.4** Grafik  $P$ - $x_1$ ,  $y_1$  untuk Sistem *Light Naphtha* (1) + DEC (2) : Data Eksperiment pada 303.15 K (●) ; 308.15 K (▲) ; 313.15 K (◆) dan 318.15 K (■) ; Perhitungan Menggunakan Persamaan Wilson (—) ; NRTL (---) ; Hildebrand and Scatchard (....)

Grafik  $P$ - $x_1$ ,  $y_1$  pada Gambar 4.4 menunjukan pada sistem *light naphtha* (1) + DEC (2) tidak terdapat titik *azeotrope* ( $x_1 = y_1$ ) pada setiap variabel suhu. Hal ini berarti tidak ada perubahan tekanan uap yang ekstrim akibat adanya interaksi molekul yang terjadi dalam campuran (Anugraha dkk, 2017).

#### IV.1.4 Octane Number

Angka oktan pada bahan bakar menyatakan kekuatan *antiknocking* dari bahan bakar tersebut. Kekuatan *antiknocking* merupakan *property* yang sangat penting dari bahan bakar yang menyatakan ketahanan dari bahan bakar untuk tidak mengalami *auto-ignition* pada saat bahan bakar mengalami proses kompresi. *Research Octane Number* (RON) dari campuran *light naphtha* + DEC diperoleh lewat pengukuran dengan menggunakan instrumen *portable octane analyzer* KOEHLER K88600. Instrument ini diklaim memiliki performa yang sama seperti standar ASTM D-2699 yang dikembangkan oleh ASTM *International*.



**Gambar 4.5** Grafik RON dan MON Terhadap % Volume DEC  
Sistem *Light Naphtha* (1) + DEC (2)

Gambar 4.5 menunjukkan hasil RON test pada campuran *light naphtha* + DEC pada setiap variable penambahan DEC. Nilai RON dari campuran mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah DEC pada campuran. Dalam eksperimen ini juga dilakukan pengukuran terhadap nilai *Motor Octane Number* (MON) yang menyatakan kekuatan *antiknocking* dari bahan bakar pada kondisi operasi mesin yang tinggi. Sedangkan RON menyatakan menyatakan kekuatan *antiknocking* dari bahan bakar pada kondisi operasi mesin yang lebih rendah. Penambahan DEC dalam campuran juga dapat meningkatkan nilai MON pada campuran seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.

**Tabel 4.9** Antiknocking Index Campuran Sistem *Light Naphtha* + DEC

%vol DEC	P <sub>uap</sub> (kPa) (@37.8°C)	RON	MON	AKI	P <sub>uap</sub> max (kPa) <i>Standard</i> <sup>[a]</sup>	RON min <i>Standard</i> <sup>[b]</sup>
0	59.51	79	81.5	80.25	60	92
10	58.45	83.2	83	83.1	60	92
20	56.95	89.2	83.7	86.45	60	92
26	56.32	92.1	84.3	88.2	60	92
30	54.79	94.3	85	89.65	60	92
40	52.84	99.5	86.1	92.8	60	92
50	48.87	100	89.1	94.55	60	92



<sup>[a]</sup>P<sub>uap</sub> *standard* : ASTM D4814

<sup>[b]</sup>RON *standard* : ASTM D2699

\*Hasil perhitungan dengan korelasi tekanan uap dan persamaan regresi bilangan oktan

Rata-rata nilai RON dan MON pada setiap campuran dinyatakan sebagai *Antiknock Index* (AKI) dimana,  $AKI = [(RON+MON)/2]$ . Tabel 4.9 menunjukkan nilai AKI berdasarkan nilai RON dan MON pada masing-masing campuran. Penambahan 30% vol DEC sudah cukup efektif untuk menjadikan *light naphtha* sebagai bahan bakar setara gasoline dimana nilai RON minimum adalah 92 (ASTM D2699) untuk *gasoline* kelas A dengan *vapor pressure* maksimal 60 kPa.

Peningkatan bilangan oktan dari campuran *light naphtha* + DEC seiring dengan meningkatnya jumlah DEC dalam campuran disebabkan karena DEC yang merupakan salah satu *oxygenate compound* dapat mempengaruhi *preflame reaction* dengan mengganggu berlangsungnya reaksi pada beberapa titik, dan memperlambat reaksi yang tidak diinginkan pada suhu rendah. Senyawa oksigenat seperti DEC secara umum memberikan entalpi pembakaran yang lebih rendah serta meningkatkan bilangan oktan. Struktur yang bercabang dari senyawa oksigenat seperti DEC sulit untuk dipecah sehingga memberikan efek terhadap peningkatan bilangan oktan. DEC sebagai senyawa oksigenat mengandung

atom oksigen dalam strukturnya yang menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna pada mesin bakar (Silva *et al.*, 2005).

#### **IV.1.5 Performa DEC pada Campuran Sistem *Light***

##### ***Naphtha* (1) + DEC (2)**

DEC yang merupakan senyawa oksigenat memberikan efek ketika dicampurkan dengan *light naphtha*. Efek yang pertama adalah penambahan DEC dapat menurunkan tekanan uap dari *light naphtha*. Hal ini disebabkan karena DEC memiliki tekanan uap yang rendah (1.11 kPa pada 20°C) jika dibandingkan dengan *light naphtha*. DEC juga tidak membentuk titik *azeotrope* ketika dicampurkan dengan *light naphtha* sehingga DEC dapat menurunkan tekanan uap dari *light naphtha*. Efek lain dari penambahan DEC adalah meningkatkan bilangan oktan dari campuran *light naphtha* + DEC. Struktur DEC yang bercabang sulit untuk dipecah sehingga memberikan efek terhadap peningkatan bilangan oktan. Berdasarkan data penurunan tekanan uap dan bilangan oktan dari tabel 4.9, kemudian dapat ditentukan komposisi efektif penambahan DEC agar memenuhi *standard* dari *gasoline* yaitu campuran *light naphtha* dengan penambahan DEC sebanyak 26% volume.

## **IV.2 Eksperimen Uji Performa Pembakaran Blending Pertamina + DEC**

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian performa pembakaran dari campuran bahan bakar pertamax dengan berbagai *oxygenated additive*. Untuk mengetahui performa dari suatu bahan bakar, ada beberapa parameter yang umum dievaluasi diantaranya seperti emisi gas karbon monoksida, emisi hidrokarbon sisa, pemakaian bahan bakar serta pemakaian udara untuk pembakaran. Etanol, DMC dan DEC adalah zat aditif yang mengandung gugus oksigen. Efek dari penambahan ketiga zat aditif ini pada bahan bakar pertamax terhadap parameter performa pembakaran yang telah disebutkan sebelumnya akan ditinjau dalam penelitian ini.

### **IV.2.1 Emisi Gas Karbon Monoksida (CO)**

Gas karbon monoksida adalah senyawa kimia dengan rumus molekul CO yang tidak berwarna yang terbentuk karena pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar. Oleh karena itu, gas ini dapat terhidup bersama dengan gas gas lainnya sehingga mudah terpapar dengan lingkungan hidup manusia. Gas ini sendiri diketahui sangat berbahaya untuk kesehatan manusia dan telah dikaitkan dengan berbagai penyakit yang ada saat ini (ASTDR, 2012). Selain daripada bahaya terhadap kesehatan manusia, gas ini juga dikategorikan sebagai salah satu polutan yang terdistribusi

merata di udara. CO adalah salah satu polutan yang terbanyak di dunia dengan komposisi sekitar 1-10 ppmv (ASTDR, 2012)

Oleh karena bahaya yang dapat ditimbulkan oleh senyawa ini, pemerintah Indonesia melalui kementerian lingkungan hidup telah menerbitkan peraturan yang menatur tentang emisi dari gas karbon monoksida ini. Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 4 Tahun 2009, batas ambang batas atas CO pada kendaraan bermotor sebesar 4.5% pada kondisi idle. Maka dalam pengujian kali ini, kadar emisi CO dijadikan salah satu parameter yang dievaluasi. Tabel 4.10 menunjukkan data emisi CO yang didapatkan untuk berbagai variabel pengujian:

**Tabel 4.10.** Emisi CO Hasil Pengujian Berbagai Campuran Bahan Bakar (% vol)

Kecepatan Mesin (RPM)	Pertamax	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	4.801	3.628	2.504	3.171	3.779	1.561	2.911	3.584	1.548	1.923
4000	5.757	4.927	3.141	5.026	5.135	3.529	3.168	4.583	2.037	3.037
5000	3.988	4.253	2.790	2.807	3.632	1.945	1.875	3.215	1.962	1.506
6000	2.806	3.007	1.472	1.009	1.818	0.663	1.053	1.053	0.541	0.749
7000	7.006	6.155	5.445	5.882	6.104	5.474	2.984	5.258	5.317	4.424
8000	8.589	9.775	6.353	3.573	7.392	6.616	6.282	7.048	6.497	4.967

Pengurangan emisi CO untuk setiap bahan bakar campuran ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{pengurangan CO} = \frac{\text{emisi CO pertamax} - \text{emisi CO campuran bahan bakar}}{\text{emisi CO pertamax}} \times 100\% \quad (4.9)$$

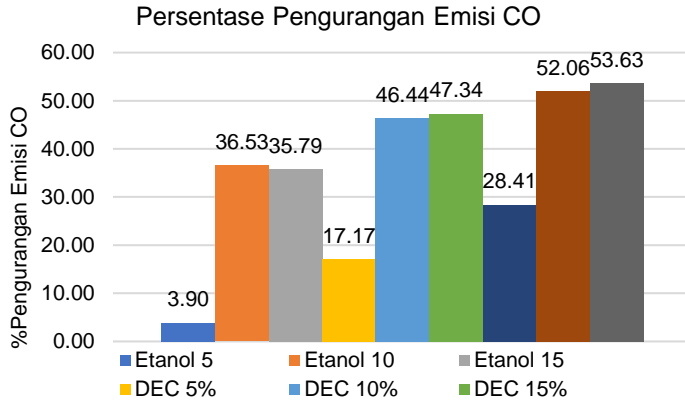
Dengan menggunakan rumus di atas maka didapatkan data pengurangan emisi CO rata-rata pada berbagai campuran bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.11 dan gambar 4.6 berikut:

**Tabel 4.11** Persentase Pengurangan Emisi CO Pada Berbagai Campuran Bahan Bakar

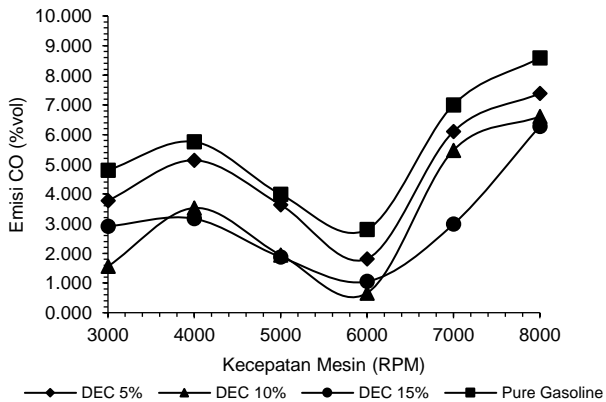
Kecepatan Mesin (RPM)	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	24.43	47.84	33.95	21.29	67.49	39.37	25.35	67.76	59.95
4000	14.42	45.44	12.70	10.80	38.70	44.97	20.39	64.62	47.25
5000	-6.64	30.04	29.61	8.93	51.23	52.98	19.38	50.80	62.24
6000	-7.16	47.54	64.04	35.21	76.37	62.47	62.47	80.72	73.31
7000	12.15	22.28	16.04	12.87	21.87	57.41	24.95	24.11	36.85
8000	13.81	26.03	58.40	13.94	22.97	26.86	17.94	24.36	42.17
%rata-rata	3.90	36.53	35.79	17.17	46.44	47.34	28.41	52.06	53.63

Dari tabel di atas maka didapatkan data bahwa campuran E5, E10 dan E15 memberikan pengurangan emisi CO berturut turut sebesar 3.90%, 36.65% dan 35.79%. Penurunan emisi CO untuk campuran bahan bakar DEC5, DEC10, DEC 15 memberikan hasil penurunan emisi CO berturut turut 17,17%, 46.44% dan 46.44%. Sedangkan untuk campuran bahan bakar DMC5, DMC10 dan DMC15 didapatkan penurunan emisi CO berturut turut sebanyak 28.41%, 52.06% serta 53.61%. Hasil ini menunjukkan bahwa DEC

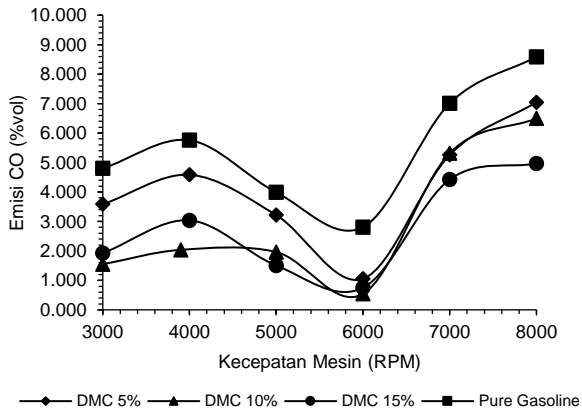
memiliki performa yang tidak jauh berbeda dengan *additive oxygenate* lainnya.



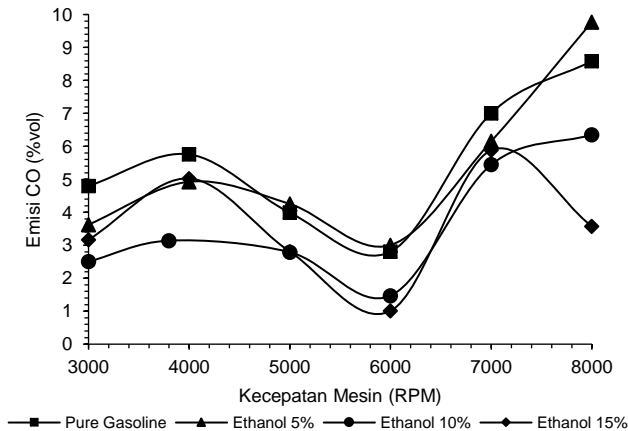
**Gambar 4.6** Persentase Pengurangan Emisi CO (% volume)  
Untuk Setiap Campuran Bahan Bakar



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.7** Efek dari penambahan oxygenate additive terhadap emisi CO pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC ; (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi dan berbagai kecepatan mesin

Gambar 4.7 (a), (b) dan (c) menunjukkan hubungan antara emisi gas karbon monoksida (CO) pada berbagai jenis campuran bahan bakar. Dari grafik terlihat bahwa penambahan senyawa *oxygenate additive* menghasilkan penurunan kadar emisi CO yang signifikan pada gas buang akibat dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini dikarenakan adanya gugus oksigen dalam zat aditif yang meningkatkan kandungan oksigen pada kondisi pembakaran sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Senyawa oksigenat juga diketahui dapat meningkatkan kestabilan dari bahan bakar sehingga reaksi-reaksi suhu rendah yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna terjadi relatif lebih sedikit. (Silva *et al.*, 2005).

Dapat dilihat dari pola kecenderungan grafik di atas bahwa emisi gas karbon monoksida meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan mesin hal ini dikarenakan terjadi banyak proses pembakaran tidak sempurna pada kondisi kecepatan mesin tinggi. Namun emisi CO terendah saat kecepatan mesin 6000 rpm dimana kecepatan ini adalah kecepatan optimum untuk mesin beroperasi sehingga pembakaran tidak sempurna yang terjadi lebih sedikit dibandingkan dengan pada kecepatan mesin lainnya. Apabila kecepatan mesin berada dibawah kecepatan optimum maka aliran oksigen yang digunakan untuk pembakaran akan berada dibawah jumlah oksigen yang dibutuhkan sehingga pembakaran tidak sempurna relatif terjadi lebih sering. Namun



apabila kecepatan mesin berada di atas kecepatan mesin optimum, waktu pembakaran bahan bakar akan menjadi semakin pendek sehingga pembakaran tidak sempurna cenderung terjadi. Dalam percobaan ini dipakai berbagai campuran bahan bakar sebagai variabel percobaan. Jika dilihat dari gambar 4.6 maka disimpulkan bahwa campuran bahan bakar DMC15 memberikan emisi CO paling minimum. Hal ini dikarenakan DMC memiliki kandungan oksigen sebesar 52.7% sedangkan kandungan oksigen DEC hanya sebesar 40.8% sehingga pembakaran akan terjadi lebih sempurna.

Jika dibandingkan dengan senyawa etanol, DMC dan DEC memiliki gugus karbonil yang akan melindungi pertamax dari kemungkinan pembakaran *pre-ignition* yang disebabkan oleh kompresi dimana reaksi pembakaran kondisi ini akan cenderung menghasilkan banyak emisi CO (Silva *et al*, 2005). Dengan adanya gugus karbonil ini maka energi yang dibutuhkan untuk pemutusan rantai menjadi lebih besar sehingga bahan bakar lebih tidak dimungkinkan untuk terbakar dengan energi *pre-ignition*.

#### **IV.2.2 Emisi HC (hidrokarbon)**

Hidrokarbon merupakan segolongan senyawa yang banyak terdapat di alam sebagai minyak bumi. Indonesia banyak menghasilkan minyak bumi yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, diolah menjadi bahan bakar motor, minyak pelumas dan aspal. Senyawa senyawa yang tergolong dalam senyawa hidrokarbon ini dapat menimbulkan berbagai efek yang berbahaya bagi kesehatan

masyarakat dan lingkungan. Jenis hidrokarbon bernama benzene bahkan telah dikaitkan dengan penyakit leukemia (Hilpert, 2015). Sedangkan senyawa oksida nitrogen dapat menimbulkan kerusakan lingkungan yang merusak lapisan ozon (Fujita, 2003). Berikut adalah hasil data eksperimen emisi hidrokarbon untuk berbagai campuran bahan bakar dan kecepatan mesin yang ditunjukkan oleh tabel 4.12 :

**Tabel 4.12** Emisi HC Hasil Pengujian Pada Berbagai Campuran Bahan Bakar (ppmv)

Kecepatan Mesin (RPM)	Pertamax	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	710	673	603	434	756	283	673	708	298	602
4000	698	551	570	477	680	397	568	689	348	674
5000	638	670	591	443	620	461	596	650	362	540
6000	620	503	477	201	528	349	457	610	356	490
7000	777	452	495	634	574	465	469	750	634	725
8000	876	560	557	825	889	604	627	840	727	890

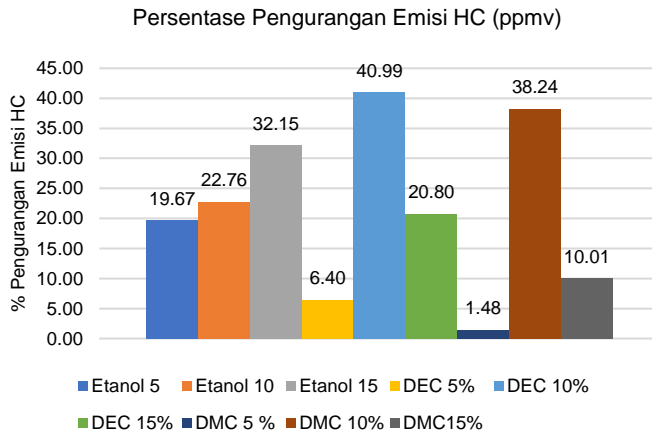
Emisi hidrokarbon sisa (HC) dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Persentase penurunan emisi HC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{pengurangan HC} = \frac{\text{emisi HC pertamax} - \text{emisi HC campuran bahan bakar}}{\text{emisi HC pertamax}} \times 100\% \quad (4.10)$$

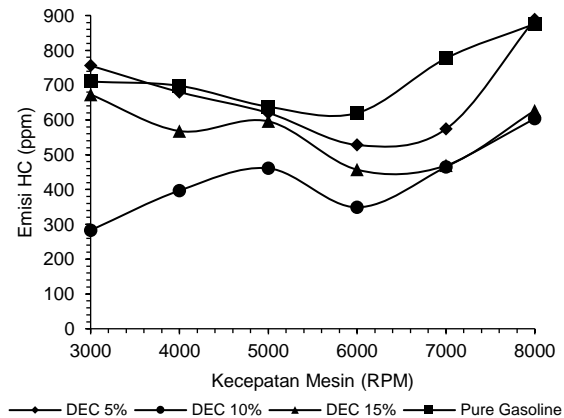
**Tabel 4.13** Pengurangan Emisi HC Pada Berbagai Campuran**Bahan Bakar**

Kecepatan Mesin (RPM)	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	5.21	15.07	38.87	-6.48	60.14	5.21	0.28	58.03	15.21
4000	21.06	18.34	31.66	2.58	43.12	18.62	1.29	50.14	3.44
5000	-5.02	7.37	30.56	2.82	27.74	6.58	-1.88	43.26	15.36
6000	18.87	23.06	67.58	14.84	43.71	26.29	1.61	42.58	20.97
7000	41.83	36.29	18.40	26.13	40.15	39.64	3.47	18.40	6.69
8000	36.07	36.42	5.82	-1.48	31.05	28.42	4.11	17.01	-1.60
% rata rata	19.67	22.76	32.15	6.40	40.99	20.80	1.48	38.24	10.01

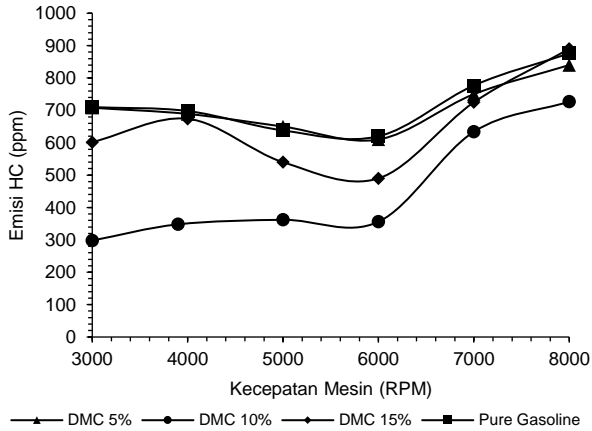
Berdasarkan tabel di atas didapatkan hasil bahwa campuran E5, E10 dan E15 mampu menurunkan emisi HC sebesar 19.67%, 22.76% dan 32.15%. Untuk DMC5, DMC10 dan DMC15 memberikan penurunan emisi HC sebesar 1.48%, 38.24% dan 10.01%. Sedangkan untuk DEC5, DEC10 dan DEC15 memberikan hasil penurunan sebesar 6.4%, 40.99% dan 20.80%. Dari data juga terlihat bahwa DEC memiliki performa yang tidak jauh berbeda dengan *oxygenate additive* lainnya. Hasil ini memberikan indikasi bahwa ketiga zat aditif ini efektif untuk menurunkan kadar emisi HC yang dihasilkan dari pembakaran mesin.



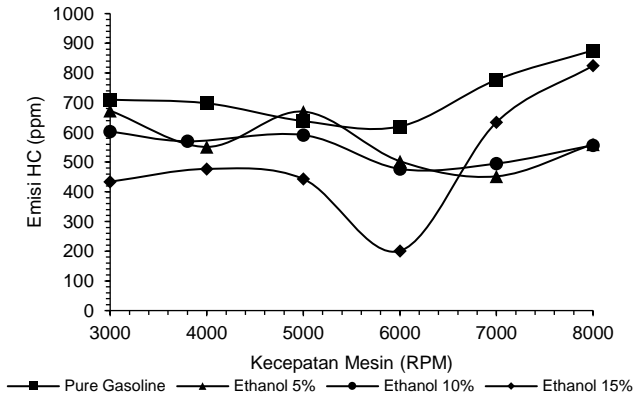
**Gambar 4.8** Persentase Pengurangan Emisi HC Untuk Setiap Campuran Bahan Bakar



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.9** Efek dari penambahan additive oxygenate terhadap emisi HC pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC ; (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi dan berbagai kecepatan mesin

Gambar 4.9 menunjukkan emisi HC pada berbagai kecepatan mesin. Seperti yang digambarkan dari gambar 4.9 (a), (b) dan (c), jika dibandingkan dengan pertamax, penambahan DEC, DMC dan etanol memberikan reduksi emisi HC yang signifikan. Hal ini dikarenakan senyawa additive oxygenate memberikan suplai oksigen dari strukturnya sehingga meningkatkan kandungan oksigen pada kondisi pembakaran dan mendorong terjadinya pembakaran yang lebih sempurna (Silva et al, 2005). Namun pada RPM tinggi, emisi hidrokarbon akan meningkat kembali sebagai akibat dari waktu pembakaran yang semakin sedikit sehingga mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna.

Dapat dilihat dari pola kecenderungan grafik di atas bahwa emisi hidrokarbon meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan mesin hal ini dikarenakan terjadi banyak proses pembakaran tidak sempurna pada kondisi kecepatan mesin tinggi sehingga jumlah hidrokarbon yang tidak ikut terbakar meningkat. Pembakaran yang tidak sempurna ini dikarenakan oleh waktu bereaksi yang berkurang sebagai akibat dari meningkatnya kecepatan mesin. Namun emisi HC terendah saat kecepatan mesin 6000 rpm dimana kecepatan ini adalah kecepatan optimum untuk mesin beroperasi sehingga jumlah hidrokarbon sisa yang tidak terbakar minimum. Apabila kecepatan mesin berada dibawah kecepatan optimum maka aliran oksigen yang digunakan untuk

pembakaran akan berada dibawah jumlah oksigen yang dibutuhkan sehingga pembakaran tidak sempurna relative terjadi lebih sering. Namun apabila kecepatan mesin berada di atas kecepatan mesin optimum, waktu pembakaran bahan bakar akan menjadi semakin pendek sehingga pembakaran tidak sempurna cenderung terjadi yang akan mengakibatkan tingginya nilai HC.

Dalam percobaan ini dipakai berbagai campuran bahan bakar sebagai variabel percobaan. Jika dilihat dari gambar 4.8 maka disimpulkan bahwa campuran bahan bakar DEC10 memberikan emisi hidrokarbon paling minimum. Hal ini dikarenakan DEC memiliki gugus etil sedangkan DMC hanya memiliki gugus metil dimana dengan semakin panjangnya rantai karbon yang dimiliki suatu aditif maka koefisien distribusi senyawa aditif ini kan semakin tinggi. Oleh karena hal ini maka DEC akan memiliki distribusi yang lebih merata sehingga jumlah emisi hidrokarbon bebas yang tidak terbakar dapat minimum. Jika dibandingkan dengan senyawa etanol, DMC dan DEC memiliki gugus karbonil yang akan melindungi pertamax dari kemungkinan pembakaran *pre-ignition* yang disebabkan oleh kompresi dimana reaksi pembakaran tidak sempurna ini akan cenderung menghasilkan banyak emisi HC (Silva et al,2005). Dengan adanya gugus karbonil ini maka energi yang dibutuhkan untuk pemutusan rantai menjadi lebih besar sehingga bahan bakar lebih tidak dimungkinkan untuk terbakar dengan energi *pre-ignition*.

### IV.2.3 Pemakaian Bahan Bakar

Berbagai jenis campuran bahan bakar telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir untuk mendapatkan performa bahan bakar yang lebih baik ditinjau dari berbagai aspek yaitu aspek emisi dan juga aspek pemakaian bahan bakar. Pemakaian bahan bakar sangat perlu ditinjau karena semakin tinggi pemakaian bahan bakar maka emisi yang dihasilkan akan meningkat. Selain itu data pemakaian bahan bakar juga diperlukan untuk menentukan nilai keekonomisan dari campuran bahan bakar. Data pemakaian bahan bakar untuk berbagai campuran bahan bakar digambarkan melalui tabel 4.14 berikut ini:

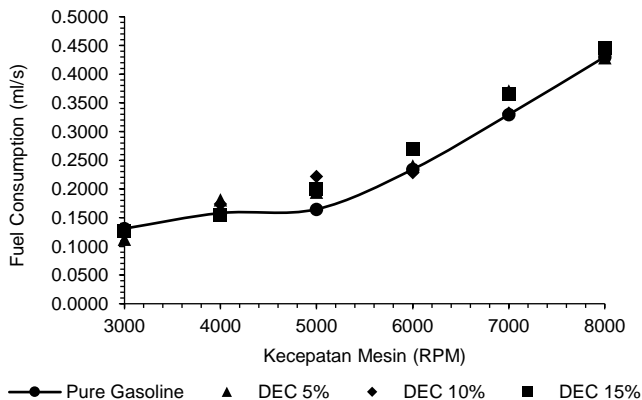
**Tabel 4.14** Pemakaian Bahan Bakar Berbagai Campuran Bahan Bakar (ml/s)

Kecepatan Mesin (RPM)	Pertamax	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	0.1310	0.11773	0.132	0.121	0.112	0.132	0.126	0.123	0.126	0.115
4000	0.1580	0.125238	0.167	0.156	0.181	0.174	0.155	0.163	0.173	0.157
5000	0.1647	0.16129	0.224	0.197	0.195	0.222	0.199	0.215	0.201	0.206
6000	0.2340	0.178406	0.316	0.268	0.240	0.229	0.269	0.272	0.218	0.274
7000	0.3295	0.284091	0.430	0.325	0.371	0.332	0.365	0.351	0.284	0.361
8000	0.4300	0.430071	0.430	0.371	0.429	0.441	0.446	0.460	0.430	0.434

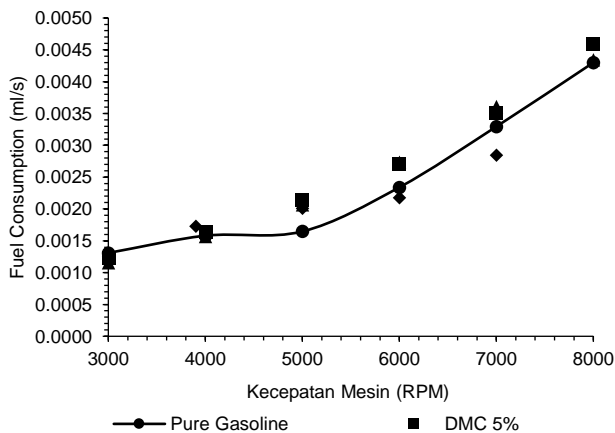
Pada penelitian ini, juga dipelajari efek dari campuran bahan bakar terhadap pemakaian bahan bakar. Dalam uji performa pembakaran ini digunakan sistem injeksi bahan bakar dengan menggunakan pipet volume yang dilengkapi skala. Gambar 4.10 menunjukkan



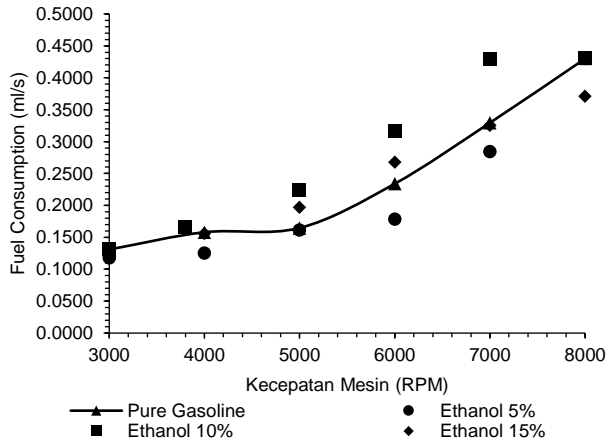
pemakaian bahan bakar meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan mesin. Dari Gambar 4.10 (a), (b), dan (c) menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar meningkat seiring dengan penambahan zat aditif DMC, DEC serta etanol.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.10** Hubungan pemakaian bahan bakar dan kecepatan mesin pada campuran bahan bakar : (a) Pertamina + DEC ; (b) Pertamina + DMC ; (c) Pertamina + Etanol pada setiap komposisi

Pemakaian bahan bakar berbanding lurus dengan nilai panas pembakaran dari campuran bahan bakar. Data kalor pembakaran dari masing masing senyawa murni yang menjadi komponen campuran bahan bakar yang diujikan digambarkan melalui tabel 4.15 dibawah ini:

**Tabel 4.15.** Data Kalor Pambakaran Senyawa Murni

Komponen	kJ/liter
Pertamax <sup>a</sup>	32500
Etanol <sup>b</sup>	21098.8
DEC <sup>b</sup>	20708.6
DMC <sup>b</sup>	15496.6

(<sup>a</sup>Wen, 2010 ; <sup>b</sup>Marshall, 1997)

Secara teoritis senyawa campuran dengan bahan etanol, DMC serta DEC akan memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih tinggi untuk menghasilkan sejumlah energi yang sama. Hasil eksperimen menunjukkan pola sesuai dengan teoritis dimana bahan bakar campuran membutuhkan pemakaian bahan bakar yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pertamax murni. Namun pada percobaan ini perbedaan yang dihasilkan tidak signifikan. Hal ini dikarenakan komposisi bahan bakar yang dicampur dalam kadar yang cukup kecil sehingga kurang signifikan. Untuk menghitung persentase selisih pemakaian bahan bakar berbagai variabel digunakan rumus sebagai berikut:

$$\%selisih = \frac{\text{pemakaian bahan bakar bahan uji} - \text{pemakaian bahan bakar pertamax}}{\text{pemakaian bahan bakar pertamax}} \times 100\% \quad (9.11)$$

Dengan menggunakan rumus diatas dapat diperoleh data persen selisih pemakaian bahan bakar sebagai berikut:

**Tabel 4.16** Data Persentase Selisih Pemakaian Bahan Bakar

Kecepatan Mesin (RPM)	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	10.10	-0.55	7.89	14.19	-0.49	3.44	5.80	3.65	11.88
4000	20.74	-5.53	1.25	-14.74	-9.97	2.03	-3.33	-9.42	0.75
5000	2.06	-36.15	-19.64	-18.22	-34.80	-21.06	-30.26	-22.13	-25.38
6000	23.76	-35.24	-14.43	-2.67	2.32	-15.08	-16.07	6.89	-16.98
7000	13.77	-30.40	1.21	-12.56	-0.80	-10.92	-6.42	13.66	-9.61
8000	-0.02	-0.02	13.65	0.34	-2.49	-3.65	-6.99	0.00	-1.04
% rata rata	11.73	-17.98	-1.68	-5.61	-7.70	-7.54	-9.55	-1.23	-6.73

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa untuk campuran bahan bakar pertamax + DEC memberikan hasil bahwa campuran DEC5, DEC10 dan DEC15 lebih boros sekitar 8% dibandingkan dengan menggunakan pertamax murni. Untuk campuran bahan bakar Pertamina + DMC (DMC5, DMC10 dan DMC15) dapat dilihat bahwa pemakaian bahan bakarnya lebih boros sekitar 6%. Sedangkan untuk bahan bakar Pertamina + Etanol pada percobaan ini terjadi anomali untuk percobaan dengan bahan bakar campuran dengan etanol sebesar 5% (E5) dimana bahan bakar ini membutuhkan bahan bakar yang lebih sedikit dibandingkan dengan pertamax murni. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu cara berkendara, beban pada motor serta kesalahan dalam pembacaan waktu.

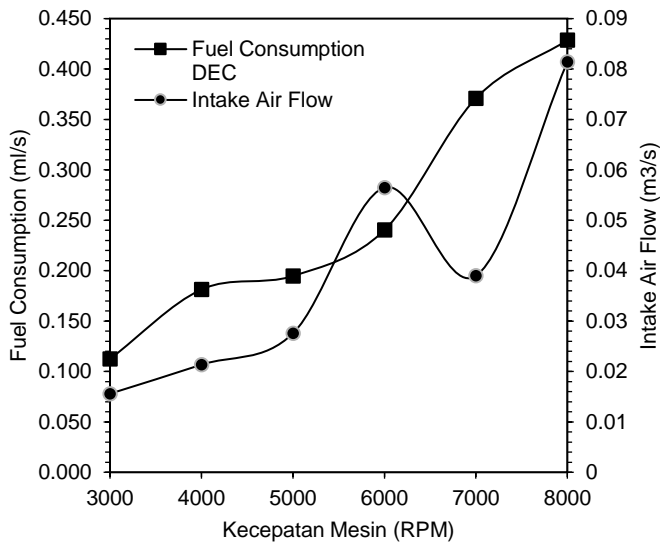
#### IV.2.4 Pemakaian Udara untuk Pembakaran

Pemakaian udara untuk pembakaran secara teoritis berbanding lurus dengan pemakaian bahan bakar. Hal ini karena udara dipakai untuk proses pembakaran bahan bakar dalam ruang pembakaran mesin. Data yang diperoleh dari eksperimen tentang pemakaian udara dalam berbagai campuran bahan bakar digambarkan melalui tabel 4.17 dibawah ini:

**Tabel 4.17** Pemakaian udara pada berbagai campuran bahan bakar ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Kecepatan Mesin (RPM)	Pertamax	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	0.0215	0.012	0.012	0.011	0.015	0.012	0.009	0.014	0.011	0.009
4000	0.0324	0.022	0.014	0.022	0.021	0.029	0.021	0.019	0.022	0.019
5000	0.0405	0.030	0.023	0.029	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
6000	0.0735	0.055	0.045	0.041	0.056	0.054	0.057	0.054	0.052	0.046
7000	0.0533	0.036	0.028	0.031	0.039	0.034	0.049	0.033	0.041	0.035
8000	0.0996	0.067	0.068	0.056	0.081	0.072	0.067	0.073	0.070	0.075

Dalam penelitian ini teliti mengenai hubungan antara kecepatan mesin, debit udara masuk serta pemakaian bahan bakar. Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara ketiga faktor ini dimana nilai pemakaian udara akan meningkat seiring meningkatnya pemakaian bahan bakar dan juga kecepatan mesin. Dalam gambar tersebut diambil salah satu contoh yaitu untuk campuran DEC5.



**Gambar 4.11** Grafik hubungan kecepatan mesin, pemakaian bahan bakar serta *intake air flow* pada campuran bahan bakar DEC5

Dari data yang didapatkan dapat dilihat bahwa hasil yang didapatkan sesuai dengan teoritis dimana pemakaian udara akan meningkat seiring dengan naiknya kecepatan mesin dan kenaikan kecepatan mesin. Namun akan meningkat pada kecepatan maksimum yaitu pada kecepatan 6000 rpm. Grafik pada gambar 4.11 juga dapat digunakan untuk mengevaluasi emisi yang dihasilkan dari setiap campuran bahan bakar. Jumlah pasokan udara masuk pembakaran mesin diatur oleh *Engine Control Unit* (ECU) yang bekerja dengan menerima signal dari berbagai sensor. ECU akan mengatur jumlah pasokan udara agar pasokan udara cukup untuk memenuhi kebutuhan dari pembakaran mesin. Pada

RPM 6000 waktu pembakaran akan cukup sehingga pasokan udara akan optimum sedangkan pada RPM di atas 6000 pembakaran dilakukan dengan sangat cepat sehingga pasokan udara tidak optimal. Sebaliknya pada RPM rendah kondisi mesin akan tidak stabil (tidak optimum) yang mengakibatkan kebutuhan pembakaran pun lebih rendah ([www.hitachi.com](http://www.hitachi.com)).

#### IV.2.5 Performa Pembakaran Secara Keseluruhan

Campuran bahan bakar variabel percobaan ini dibandingkan menurut faktor faktor yang telah di bahas di sub bab IV.2.1 sampai IV.2.4 mulai dari emisi serta pemakaian bahan bakar yang dibutuhkan dari masing masing campuran bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut ini. Pada tabel ini akan ditampilkan data pada kecepatan mesin optimum yaitu 6000 RPM.

**Tabel 4.18 Data Performa Pembakaran Campuran Bahan Bakar pada 6000 RPM**

Bahan Bakar	Emisi CO (%v/v)	Emisi HC (ppm)	Laju Udara Masuk (m <sup>3</sup> /s)	Pemakaian Bahan Bakar (ml/s)
Pertamax	2.806	620	0.074	0.234
Pertamax+DEC (5%)	1.818	528	0.056	0.240
<b>Pertamax+DEC (10%)</b>	<b>0.663</b>	<b>349</b>	<b>0.054</b>	<b>0.229</b>
Pertamax+DEC (15%)	1.053	457	0.057	0.269
Pertamax+DMC (5%)	1.053	610	0.054	0.272
Pertamax+DMC (10%)	0.541	356	0.053	0.218
Pertamax+DMC (15%)	0.749	490	0.046	0.274
Pertamax+Etanol (5%)	3.007	503	0.055	0.178
Pertamax+Etanol (10%)	1.472	477	0.045	0.316
Pertamax+Etanol (15%)	1.009	201	0.031	0.268

Performa bahan bakar campuran pertamax dengan aditif DEC memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pertamax tanpa tambahan aditif. Jika dibandingkan aditif pembanding lain seperti DMC dan Ethanol, DEC memiliki performa yang tidak jauh berbeda. Jika dilihat pada tabel 4.18, dapat diambil kesimpulan dari aspek emisi gas karbon dioksida, emisi hidrokarbon serta pemakaian bahan bakar dapat disimpulkan campuran bahan bakar yang optimum adalah campuran pertamax dengan penambahan DEC sebanyak 10% vol (DEC10).



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.I Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah diperoleh data *physical properties* yang meliputi tekanan uap dan bilangan oktan dari campuran light naphtha + DEC. Dimana komposisi blending optimum yaitu campuran light naphtha + 26% vol DEC yang didasarkan pada tekanan uap campuran yang sudah memenuhi standar tekanan uap gasoline (maksimum 60 kPa menurut ASTM D4814) dan RON campuran bernilai 94.3 (minimum 92 menurut ASTM D2699).
2. Data tekanan uap hasil eksperimen telah dikorelasikan dengan cukup baik menggunakan model Wilson, NRTL, dan Hildebrand and Scatchard dengan AAD kurang dari 5%.
3. Telah diperoleh data performa pembakaran untuk campuran bahan bakar pertamax + DEC dan additive pembanding lain (DMC dan Ethanol) berupa emisi gas karbon monoksida (CO), emisi hidrokarbon (HC), pemakaian bahan bakar. Performa bahan bakar campuran pertamax dengan additive DEC memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan

dengan pertamax murni tidak jauh berbeda. Jika dibandingkan dengan additive pembanding lain seperti DMC dan ethanol, DEC memiliki performa yang tidak jauh berbeda. Sehingga campuran bahan bakar yang optimum adalah campuran pertamax dengan penambahan DEC sebanyak 10% vol (DEC10).

## **V.II Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh saran untuk penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

1. Melakukan eksperimen pengukuran tekanan uap dan bilangan oktan campuran *light naphtha* dengan menambahkan DEC dan *biofuel* untuk mencari komposisi yang optimum untuk campuran bahan bakar.
2. Melakukan eksperimen uji pembakaran campuran bahan bakar *light naphtha*+DEC 26% yang telah diajukan untuk mendapatkan data emisi dan pemakaian bahan bakar.
3. Perlu adanya system control pada *water brake dynamometer* sehingga pengaturan RPM lebih mudah dan RPM menjadi lebih stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anugraha, Rendra. P.; Altway, A.; Wibawa, G. Measurement and Correlation of Isothermal Binary Vapor–Liquid Equilibrium for Diethyl Carbonate + Isooctane/n-Heptane/Toluene Systems. *J. Chem. Eng. Data* 2017, 62, 8, 2362-2366
- Annual Book of American Society for testing and Material Standard, 1988, ASTM Designation D2699-18
- Annual Book of American Society for testing and Material Standard, 1988, ASTM Designation D4814-03
- Annual Book of American Society for testing and Material Standard, 1988, ASTM Designation D4084-82
- Brookman, G.T., Flanagan, M., Kebe, J.O., 1985, Laboratory Study on Solubilities of Petroleum Hydrocarbon in Groundwater, TRC Environmental Consultant Inc. Project No. 222663-N31-00 for Environmental Affairs Dept., American Petroleum Institute.
- Bursian, N.R., Englin, B.A. Emel'yanov, V., Nilov, Y.N., Demidenko, K.A., Yakolev, A.A., 1985. *Chem. Technol. Fuels Oils*, 21, 227-230

- Chang, J., Kalghatgi, G., Amer, A., Adomeit, P. et al.,  
 "Vehicle Demonstration of Naphtha Fuel Achieving  
 Both High Efficiency and Drivability with EURO6  
 Engine-Out NO<sub>x</sub> Emission," SAE Int. J.  
 Engines6(1):2013
- Choi, J.C., Konho, K., Ohshima, Y., Yasuda, H., Sakakura,  
 T., 2008, Tin- or titanium-catalyzed dimethyl  
 carbonate synthesis from carbon dioxide and  
 methanol ; Large promotion by a small amount of  
 triflate salt, Catalyst Communications, 9, 1630-1633
- Crandall, J.W.; Deitzler, J. E.; Kapicak, L. A.; Poppelsdorf,  
 F. US Patent 4663477. 1987.
- Christensen, E., Yanowitz, J., Ratcliff, M., 2011, Renewable  
 Oxygenate Blending Effect on Gasoline Properties,  
 Energy and Fuels, 25, 4723-4733
- Dunn, B.C.; Guenneau, C.; Hilton, A.; Pahnke, J.; Eyring, E.  
 M.; Dworzanski, J. Production of Diethyl Carbonate  
 from Ethanol and Carbon Monoxide over  
 Heterogenous Catalyst. *J. Energy Fuel.* 2002, 16, 177.
- Fujita, Eric M. and David E. Campbell. Validation And  
 Application Protocol For Source Apportionment Of  
 Photochemical Assessment Monitoring Stations

- (PAMS) Ambient Volatile Organic Compound (VOC) Data. Desert Research Institute Division of Atmospheric Sciences. 2003
- Gentel, J., Manary, O.J., Valenta, J.G. 1974. EPA-650/2-74-061. Transportation Chemical Group. Ag-Organics Department. Dow Chemical.Co. Midland, Michigan, USA.
- Guibet, Jean-Claude and Emmanuelle Faure-Birchem. Fuels and engines: technology, energy, environment, Volume 2. Éditions Technip. 1999
- Hilpert M, Mora BA, Ni J, Rule AM, Nachman KE. Hydrocarbon Release During Fuel Storage and Transfer at Gas Stations: Environmental and Health Effects. Springer International Publishing. 2015
- IHS Markit. Light and Heavy Naphtha: International Market Analysis. 2017
- Jones, David S. J.; Pujado, Peter P. Handbook of Petroleum Processing. Berlin: Springer, 2006.
- Kadarohman, Asep. 2003. Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar. UPI Bandung. Bandung.

- Kreamer, D.K. and K.J. Stetzenbach, 1990. Development of a Standard, Pure-Compound Base Gasoline Mixture for Use as a Reference in Field and Laboratory. Experiments. Ground Water Monitoring Review, Spring 1990, p.135-145.
- Lozano, A.; Yip, B.; Hanson, R.K. 1992. Acetone: a tracer for concentration measurements in gaseous flows by planar laser-induced fluorescence. *Exp. Fluids*. 13 (6): 369–376.
- Lewis, SR., R.J., 1997, “Condensed Chemical Dictionary 3<sup>rd</sup> ed”, John Wiley & Sons, Inc. New York, USA
- Li, D.; Fang, W.; Xing, Y.; Guo, Y.; Lin, R. Effect of Diethyl Carbonate as an Additive on Volatility and Flash Point of an Aviation Fuel. *J Hazard Mater*. 2009, 161, 1193-1201
- Li, H.; Han, S.; Teng, Y. Bubble Point Measurement for System Chloroform-Ethanol-Benzene by Inclined Ebulliometer. *Fluid Phase Equilibria J*. 1995. 113, 185 – 195.
- Lide, David R. 2003. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition. CRC Press. Boca Raton,

- Florida; Section 3, Physical Constants of Organic Compounds.
- Muskat, I.E.; Strain, F. US Patent 2379250. 1941.
- Oktavian, R.; Amildesi, V.; Rasmito, A.; Wibawa, G. Vapor pressure measurements of ethanol–isooctane and 1-butanol–isooctane systems using a new ebulliometer. *J. Fuel*. 2013, *107*, 47-51.
- Pacheco, M.A.; Marshall, C.L. Review of Dimethyl Carbonate (DMC) Manufacture and Its Characteristics as a Fuel Additive. *Energy Fuels*. 1997, *11*, 2-29.
- Pertamina. 2015. Website. <http://www.pertamina.com/Diakses> 19 Juli 2018
- Poling, B.E; Prausnitz, J.M.; O’Connell, J.P. The Properties of Gases and Liquids, 5th Ed. Mc-Graw Hill: New York. 2001.
- Prausnitz, J. M., Regular solution theory for gas liquid solution, *A. I. Ch. E. J.*, *4*, 269, 1958.
- Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement: Carbon Monoxide CAS # 630-08-0. Department of Health And Human Services. 2012



- Ramadhana, Abidzar. 2008. *Karakteristik Thermal Precipitator Sebagai Smoke Collector berbasis Thermophoretic Force*. Jakarta : Universitas Indonesia
- Renon, H.; Prausnitz, J. M. Local compositions in thermodynamic excess functions for liquid mixtures. *AIChE J.* 1968, *14*, 135–44.
- Roh, N.S. et al. 2002. ACS Division of Fuel Alcohol at 101.3 kPa. *J.Chem.Eng. Data.* 48, 86-91
- Ryu, J.Y. 1999. Process for making dialkyl carbonates. US Patent, 5902894
- Sandler, S. I. *Chemical and Engineering Thermodynamics* (3rd ed.). J. Wiley and Sons : New York, 1999.
- Short, G. D. *Fuel Composition*; assigned to ICI. 1983, EP Patent 98,691.
- Stephenson, J,B. 2002. Testimony before the committee on Energy and Commerce, Subcommittee on Environment and Hazardous Material. MTBE contamination in ground water : Identifying and addressing the problem. Director of Environmental Issues, U.S. Government Accounting Office, Washington, D.C.

- Sugiyono, A.; Aninditha ; Boedoyo, M.S.; Adiarso. 2014. Outlook Energi Indonesia 2014. Jakarta : Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi BPPT
- Suryawanshi, P.N. 2015. Effect of Adding Oxygen Containing Additives to Unleaded Gasoline on Exhaust Emission. Novateur Publications. International Journal of Innovations in Engineering Researched and Technology [IJIERT].
- Tomishige, K; Sakaihori, T; Ikeda, Y; Fujimoto, K.A. Novel Method of Direct Synthesis of Dimethyl Carbonate from Methanol and Carbon Dioxide Catalyzed by Zirconia. *J. Catal Lett.* 1999, 58, 225.
- Tundo, P. & Selva, M. 2002. The chemistry of dimethyl carbonate. *Acc. Chem. Res.* 35 (9), 706-716.
- Urano, Y.; Kirishiki, M.; Onda, Y.; Tsuneki H. US Patent 5430170. 1993.
- Wang, D.; Yang, B.; Zhai, X.W.; Zhou, L. Synthesis of Diethyl Carbonate by Catalytic Alcoholysis of Urea. *J. Fuel Processing Technology.* 2007, 88, 807-812
- Wen, L. B; Xin, C. Y.; Yang, S. C. The Effect of Adding Dimethyl Carbonate (DMC) and Ethanol to Unleaded

- Gasoline on Exhaust Emission. *Appl Energ.* 2010, 87, 115-121
- Wibawa, G.; Mustain, A.; Akbarina, M.F.; Ruslim, R.M. Isothermal Vapor–Liquid Equilibrium of Ethanol + Glycerol and 2-Propanol + Glycerol at Different Temperatures. *J. Chem. Eng Data.* 2015, 60, 955-959.
- Wibawa, G.; Amelia, W. Improvement of an Entropic-FV model based on solubility parameter for prediction of vapor-liquid equilibria of solvent-polymer systems. *Fluid Phase Equilibria*, 2009, 285, 1-2
- Wilson, G.M. Vapor–liquid equilibrium. XI. A new expression for the excess free energy of mixing. *J Am Chem Soc.* 1964, 86, 127–30.

## DAFTAR NOTASI

$A$	Konstanta untuk Persamaan Antoine
$B$	Konstanta untuk Persamaan Antoine
$b_{ij}$	Parameter untuk Persa Model NRTL
$C$	Konstanta untuk Persamaan Antoine
$c_{ii}$	Cohesive energy density
$\hat{f}$	Fugasitas
$G$	Energi bebas Gibbs
$h$	Entalphi
$G_{ij}$	Konstanta empiris untuk Model NRTL
$\Delta h$	Beda ketinggian manometer Hg, mmHg
$\Delta u_i$	Energi untuk evaporasi pada kondisi isothermal
$l_{ij}$	Parameter biner untuk model Regular solution
$n$	Jumlah mol total, mol
$P / P_{vp}$	Tekanan uap, kPa
$q_i$	Parameter Area untuk Komponen $i$
$r_i$	Parameter Volume untuk Komponen $i$
$R$	Konstanta Gas, 8.314 m <sup>3</sup> Pa/(mol. K)
$s$	entropi
$T$	Suhu, K
$t$	Suhu, °C
$\Delta u_{ij}$	Parameter untuk Model UNIQUAC
$V$	Molar volume
$x$	Fraksi mol di fase liquid saat setimbang
$x_i$	Fraksi mol fase liquid komponen $i$
$x^0$	Komposisi feed
$y$	Fraksi mol di fase uap
$\delta$	Ketidakpastian

$\delta_i$	Solubility parameter untuk model Regular solution
------------	---

### Greek

$\alpha$	Parameter NRTL model (Non-Randomness factor)
$\phi_i$	Koefisien fugasitas komponen $i$
$\hat{\phi}_i$	Koefisien fugasitas komponen murni $i$
$\gamma_i$	Koefisien aktifitas komponen $i$
$\Lambda_{ij}$	Parameter untuk Persamaan Wilson
$\theta_i$	Fraksi Area untuk Komponen $i$
$\Phi_i$	Fraksi Volume untuk Komponen $i$
$\tau_{ij}$	Konstanta empiris persamaan NRTL
$\rho$	Densitas, kg/m <sup>3</sup>

### Superscript

E	Excess
L	Fase liquid
$l$	Fase liquid
$v$	Fase uap
<sup>0</sup>	murni ( $P_1^0$ = tekanan uap komponen 1 murni)

### Subscript

c	kondisi kritis
$cal$	Nilai dari perhitungan
exp	Nilai dari eksperimen
$i, j, k$	Komponen ke-
$Sat$	saturated/ jenuh
1,2	Komponen 1,2

## APPENDIKS

### 1. Validasi Alat dengan Pengukuran Tekanan Uap Murni

#### 1.1 Validasi Tekanan Uap Murni Etanol

Validasi tekanan uap murni etanol menggunakan Persamaan Antoine sebagai berikut,

$$\log P_{vp} = A - \frac{B}{T + C - 273.15}$$

Dimana  $P_{vp}$  = Tekanan uap (bar)

A, B, C = Konstanta Antoine

T = Suhu (K)

Sehingga untuk mengkonfersi satuan bar menjadi satuan kPa digunakan persamaan

$$P_{vp} = (10^{(A - \frac{B}{T+C-273.15})}) \times 100$$

Konstanta Persamaan Antoine untuk etanol diberikan pada tabel dibawah ini:

A	B	C
5,33675	1648,22	230,918

Contoh perhitungan tekanan uap murni ethanol pada 30.06°C (303.21 K) :

$$P_{vp} = (10^{(5.33675 - \frac{1648.22}{303.21+230.918-273.15})}) \times 100$$

$$P_{vp} = 10.51 \text{ kPa}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap murni ethanol pada 30.08° C (303.21 K) sebesar 10.65 kPa. Sehingga didapatkan nilai AD tekanan uap murni etanol berdasarkan eksperimen dan perhitungan sebesar,

$$AD = \left| \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{cal}} \right|$$

$$AD = \left| \frac{10.65 - 10.51}{10.65} \right|$$

$$AD = 1.33\%$$

## 1.2 Validasi Tekanan Uap Murni Acetone

Validasi tekanan uap murni Acetone menggunakan Persamaan Antoine sebagai berikut,

$$\log P_{vp} = A - \frac{B}{T + C - 273.15}$$

Dimana  $P_{vp}$  = Tekanan uap (bar)  
A, B, C = Konstanta Antoine  
T = Suhu (K)

Jadi, untuk menjadikannya dalam satuan kPa digunakan rumusan

$$P_{vp} = (10^{(A - \frac{B}{T+C-273.15})}) \times 100$$

Konstanta Persamaan Antoine untuk acetone diberikan pada tabel dibawah ini:

A	B	C
4.2184	1197.01	228.06

Contoh perhitungan tekanan uap murni n-heptana pada 30.01°C (303.16 K) :

$$P_{vp} = (10^{(4.2184 - \frac{1197.01}{303.16 + 220.767 - 273.15})}) \times 100$$

$$P_{vp} = 38.03 \text{ kPa}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap murni isooktana pada 30° C (303.15 K) sebesar 37.82 kPa. Sehingga didapatkan nilai AD tekanan uap murni isooktana berdasarkan eksperimen dan perhitungan sebesar,

$$AD = \left| \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{cal}} \right|$$

$$AD = \left| \frac{37.82 - 38.03}{38.03} \right|$$

$$AD = 0.54\%$$

### 1.3 Validasi Tekanan Uap Murni DEC

Validasi tekanan uap murni DEC menggunakan Persamaan Antoine sebagai berikut,

$$\log P_{vp} = A - \frac{B}{T + C}$$

Dimana  $P_{vp}$  = Tekanan uap (kPa)

A, B, C = Konstanta Antoine



$$T = \text{Suhu (K)}$$

Konstanta Persamaan Antoine untuk DEC diberikan pada table dibawah ini :

A	B	C
5.883	1223.77	-84.304

Contoh perhitungan tekanan uap murni DEC pada 30.08°C (303.23 K) :

$$P_{vp} = (10^{(5.883 - \frac{1223.77}{303.23 + 220.767})})$$

$$P_{vp} = 1.96 \text{ kPa}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap murni DEC pada 30°C (303.15 K) sebesar 1.98 kPa. Sehingga didapatkan nilai AAD tekanan uap murni DEC berdasarkan eksperimen dan perhitungan sebesar,

$$AD = \left| \frac{P_{exp} - P_{cal}}{P_{cal}} \right|$$

$$AD = \left| \frac{1.98 - 1.96}{1.96} \right|$$

$$AD = 0.64\%$$

## 2. Perhitungan Fraksi Mol Campuran

Contoh perhitungan fraksi mol campuran light naphtha (1) + DEC (2) dengan BM light naphtha sebesar 81.88 g/mol dan BM DEC sebesar 118.13 g/mol:

$$\text{Massa light naphtha} = 105.8210 \text{ gram}$$

$$\text{Massa DEC} = 38.7710 \text{ gram}$$

$$n_{\text{light naphtha}} = \frac{105.8210 \text{ gram}}{81.88 \text{ gram/mol}} = 1.3498 \text{ mol}$$

$$n_{\text{DEC}} = \frac{38.7710 \text{ gram}}{118.13 \text{ gram/mol}} = 0.3282 \text{ mol}$$

$$x_1 = \frac{1.3498}{1.3498 + 0.3282} = 0.899 \text{ mol}$$

$$x_2 = \frac{0.33}{1.29 + 0.33} = 0.101 \text{ mol}$$

### 3. Korelasi Data Eksperimen dengan menggunakan Persamaan Wilson

Persamaan Wilson yang digunakan untuk menghitung parameter biner adalah sebagai berikut,

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + x_2 \Lambda_{12}) + x_2 \left[ \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right]$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + x_1 \Lambda_{21}) - x_1 \left[ \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + x_2 \Lambda_{12}} - \frac{\Lambda_{21}}{x_2 + x_1 \Lambda_{21}} \right]$$

$$\Lambda_{ij} = \frac{V_j}{V_i} \exp \frac{-a_{ij}}{RT}; (i \neq j)$$

Nilai dari parameter  $a_{12}$  dan  $a_{21}$  diperoleh dengan menggunakan metode Barker yaitu dengan meminimalkan nilai objective function berikut ini:

$$\text{OF} = \sum_{i=1}^n (P_{i,\text{cal}} - P_{i,\text{exp}})^2$$

Dimana  $P_{i,\text{exp}}$  adalah tekanan uap yang diperoleh dari eksperimen sedangkan  $P_{i,\text{calc}}$  adalah tekanan uap yang

diperoleh berdasarkan perhitungan dengan persamaan Wilson. Berikut merupakan contoh perhitungan sistem biner light naphtha (1) + DEC (2) pada  $v_1 = 0.80$  dan  $v_2 = 0.20$  pada suhu  $35^\circ\text{C}$  (308.15 K) dengan parameter  $a_{12}$  dan  $a_{21}$  yang telah diperoleh dari tahap optimasi dengan menggunakan solver.

Komponen	V (cm <sup>3</sup> /mol)
Light naphtha (1)	123.798
DEC (2)	121.159

Diketahui:

$$R = 8.314 \text{ L kPa/mol K}; \quad a_{12} = 131.50 \text{ L kPa/mol};$$

$$P_1^{\text{sat}} = 54.089 \text{ kPa}; \quad a_{21} = 7745 \text{ L kPa/mol};$$

$$P_2^{\text{sat}} = 2.619 \text{ kPa};$$

$$x_1 = 0.797$$

$$x_2 = 0.203$$

$$\Lambda_{12} = \frac{v_2}{v_1} \exp \frac{-a_{12}}{RT} = \frac{121.159}{123.798} \exp \frac{-131.5}{8.314 \times 308.15} = 0.929$$

$$\Lambda_{21} = \frac{v_1}{v_2} \exp \frac{-a_{21}}{RT} = \frac{123.798}{121.159} \exp \frac{-7745}{8.314 \times 308.15} = 0.0497$$

Berdasarkan Persamaan Wilson,

$$\ln \gamma_1 = -\ln[0.797 + (0.203 \times 0.929)] + 0.203 \left[ \frac{0.929}{0.797 + (0.203 \times 0.929)} + \frac{0.0497}{0.203 + (0.797 \times 0.0497)} \right]$$

$$\gamma_1 = 1.178$$

dan,

$$\ln \gamma_2 = -\ln[0.203 + (0.797 \times 0.0497)] + 0.797 \left[ \frac{0.929}{0.797 + (0.203 \times 0.929)} + \frac{0.0497}{0.203 + (0.797 \times 0.0497)} \right]$$

$$\gamma_2 = 2.293$$

Maka,

$$P_{cal} = \sum x_i \gamma_i P_i^{sat}$$

$$\begin{aligned} P_{cal} &= (0.797 \times 1.178 \times 54.089) + (0.2 \times 2.293 \times 2.619) \\ &= 52.027 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap campuran light naphtha (1) + DEC (2) pada 35°C (308.15 K) sebesar 51.21 kPa. Sehingga didapatkan nilai AD tekanan uap campuran diatas berdasarkan eksperimen dan perhitungan didapat,

$$AD = \left| \frac{52.027 - 51.21}{51.21} \right| \times 100\% = 1.6\%$$

Berdasarkan data ekperimen dan perhitungan diperoleh AAD Persamaan Wilson terhadap eksperimen sebesar 1.6%

#### 4. Korelasi Data Eksperimen dengan menggunakan Persamaan NRTL

Persamaan NRTL yang digunakan untuk menghitung parameter biner adalah sebagai berikut,

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left[ \tau_{12} \left( \frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right)^2 + \left( \frac{G_{12} \tau_{12}}{(x_2 + x_1 G_{12})^2} \right) \right]$$

$$\ln \gamma_2 = x_1^2 \left[ \tau_{21} \left( \frac{G_{21}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right)^2 + \left( \frac{G_{21} \tau_{21}}{(x_1 + x_2 G_{21})^2} \right) \right]$$

$$G_{12} = \exp(-\alpha \tau_{12}); G_{21} = \exp(-\alpha \tau_{21});$$

$$\tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT}; \tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT}$$

Nilai parameter ketidakacakan ( $\alpha$ ) ditetapkan sebesar 0.3, sedangkan parameter  $b_{12}$  dan  $b_{21}$  diperoleh melalui trial and error serta optimasi dengan meminimalkan nilai objective function:

$$OF = \sum_{i=1}^n (P_{i,cal} - P_{i,exp})^2$$

Dimana  $P_{i,exp}$  adalah tekanan uap yang diperoleh dari eksperimen sedangkan  $P_{i,calc}$  adalah tekanan uap yang diperoleh berdasarkan perhitungan dengan persamaan NRTL. Berikut merupakan contoh perhitungan sistem biner light naphtha (1) + DEC (2) pada  $v_1 = 0.80$  dan  $v_2 = 0.20$  pada suhu  $35^\circ\text{C}$  (308.15 K) dengan parameter  $b_{12}$  dan  $b_{21}$  yang telah diperoleh dari tahap optimasi dengan menggunakan solver.

Diketahui:

$$b_{12} = 8026.62 \text{ J/mol}; \quad R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1};$$

$$b_{21} = -1428.23 \text{ J/mol}; \quad P_1^{\text{sat}} = 54.036 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.3 \quad P_2^{\text{sat}} = 2.613 \text{ kPa}$$

$$x_1 = 0.797$$

$$x_2 = 0.203$$

$$\tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT} = \frac{8026.62}{8.314 \times 308.15} = 3.132$$

$$\tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT} = \frac{-1428.23}{8.314 \times 308.15} = -0.557$$

$$G_{12} = \exp(-0.3 \times 3.132) = 0.391$$

$$G_{21} = \exp(-0.3 \times -0.557) = 1.182$$

Berdasarkan Persamaan NRTL,

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left[ \tau_{12} \left( \frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right)^2 + \left( \frac{G_{12} \tau_{12}}{(x_2 + x_1 G_{12})^2} \right) \right]$$

$$\ln \gamma_1 = 0.203^2 \left[ 3.132 \left\{ \frac{1.182}{(0.797 + (0.203 \times 1.182))} \right\}^2 + \frac{0.391 \times 3.312}{\{0.203 + (0.797 \times 0.391)\}^2} \right]$$

$$\gamma_1 = 1.174$$

dan,

$$\ln \gamma_2 = x_1^2 \left[ \tau_{21} \left( \frac{G_{21}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right)^2 + \left( \frac{G_{21} \tau_{21}}{(x_1 + x_2 G_{21})^2} \right) \right]$$

$$\ln \gamma_2 = 0.797^2 \left[ -0.557 \left\{ \frac{0.391}{(0.203 + (0.797 \times 0.391))} \right\}^2 + \frac{1.182 \times -0.057}{\{0.797 + (0.203 \times 1.182)\}^2} \right]$$

$$\gamma_2 = 2.140$$

Maka,

$$P_{cal} = \sum x_i \gamma_i P_i^{sat}$$

$$P_{cal} = (0.797 \times 1.174 \times 54.089) + (0.203 \times 2.140 \times 2.619)$$

$$= 51.766 \text{ kPa}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap campuran light naphtha (1) + DEC (2) pada 35°C (308.15 K) sebesar 51.21 kPa. Sehingga didapatkan nilai AD tekanan uap campuran diatas berdasarkan eksperimen dan perhitungan didapat,

$$AD = \left| \frac{51.766 - 51.21}{51.21} \right| \times 100\% = 1.1\%$$

Berdasarkan data eksperimen dan perhitungan diperoleh AAD Persamaan NRTL terhadap eksperimen sebesar 1.1%

## 5. Korelasi Data Eksperimen dengan menggunakan Persamaan Hildebrand and Scatchard

Persamaan Hildebrand and Scatchard yang digunakan untuk menghitung parameter biner adalah sebagai berikut,

$$\ln \gamma_1 = \frac{V_1(1 - \phi_1)^2[(\delta_1 - \delta_2)^2 - 2l_{12}\delta_1\delta_2]}{RT}$$

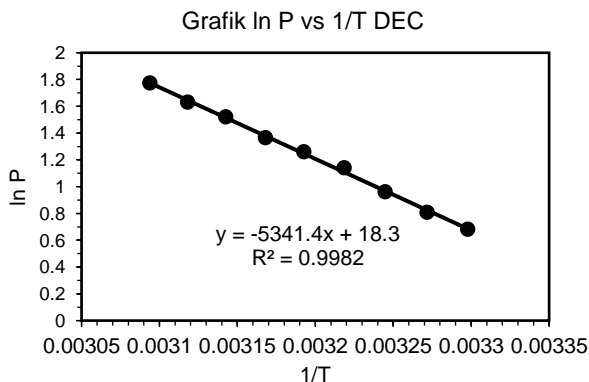
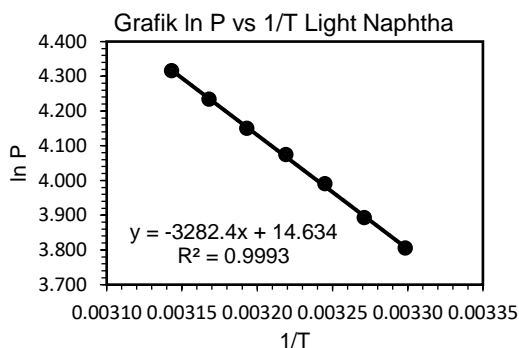
$$\ln \gamma_2 = \frac{V_2(1 - \phi_2)^2[(\delta_2 - \delta_1)^2 - 2l_{21}\delta_2\delta_1]}{RT}$$

$$\phi_i = \frac{x_i V_i}{\sum x_i V_i}; \delta_i^2 = \frac{\Delta_{vap} H_{m,i} - RT}{V_i}$$

$$l_{i,j} = l_{j,i} = l_0 + a_0 \exp\left(\frac{a_1 - T/T_0}{a_2}\right)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan sistem biner light naphtha (1) + DEC (2) pada  $v_1 = 0.80$  dan  $v_2 = 0.20$  pada suhu  $35^\circ\text{C}$  (308.15 K). Average initial enthalpy of vaporization,  $\Delta_{\text{vap}}H_m$  dari setiap komponen pada range temperature yang digunakan dalam eksperimen diperoleh dari regresi linier grafik  $\ln P$  vs  $1/T$  berdasarkan persamaan Clausius-Clapeyron.

Average initial enthalpy of vaporization,  $\Delta_{\text{vap}}H_m$  untuk setiap komponen murni i dalam campuran diperoleh dari grafik di bawah ini :





Dari grafik di atas diperoleh

$$\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},1} = 3282.4 \times 8.314 = 27308.1 \text{ J/mol} = 27.308 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{\text{vap}}H_{\text{m},2} = 5241.4 \times 8.314 = 44408.4 \text{ J/mol} = 44.408 \text{ kJ/mol}$$

Nilai dari parameter  $l_0$ ,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  diperoleh dengan menggunakan metode Barker yaitu dengan meminimalkan nilai objective function berikut ini:

$$\text{OF} = \sum_{i=1}^n (P_{i,\text{cal}} - P_{i,\text{exp}})^2$$

Dimana  $P_{i,\text{exp}}$  adalah tekanan uap yang diperoleh dari eksperimen sedangkan  $P_{i,\text{calc}}$  adalah tekanan uap yang diperoleh berdasarkan perhitungan dengan persamaan Hildebrand and Scatchard.

Diketahui:

$$l_0 = 0.046$$

$$R = 8.314 \text{ ml Pa/mol K};$$

$$a_0 = 6050.535$$

$$P_1^{\text{sat}} = 54.036 \text{ kPa};$$

$$a_1 = 0.796$$

$$P_2^{\text{sat}} = 2.613 \text{ kPa};$$

$$a_2 = 0.007$$

$$T_0 = 298.15 \text{ K}$$

$$x_1 = 0.797$$

$$x_2 = 0.203$$

Komponen	V (cm <sup>3</sup> /mol)
Light naphtha (1)	123.798
DEC (2)	121.159

$$\delta_1^2 = \frac{27308.1 - (8.314 \times 308.15)}{123.798} \text{ sehingga } \delta_1 = 14.138$$

$$\delta_2^2 = \frac{44408.4 - (8.314 \times 308.15)}{121.159} \text{ sehingga } \delta_2 = 18.529$$

$$\phi_1 = \frac{0.797 \times 123.798}{(0.797 \times 123.798) + (0.203 \times 121.159)} = 0.8 ;$$

$$\phi_2 = \frac{0.203 \times 121.159}{(0.797 \times 123.798) + (0.203 \times 121.159)} = 0.2$$

$$l_{1,2} = l_{2,1} = 0.046 + 6050.532 \exp\left(\frac{0.796 - \frac{303.15}{298.15}}{0.07}\right) = 0.046$$

Berdasarkan Persamaan Hildebrand and Scatchard

$$\ln \gamma_1 = \frac{123.798(1 - 0.8)^2[(14.265 - 16.613)^2 - (2 \times 0.046 \times 14.265 \times 16.613)]}{8.314 \times 308.15}$$

$$\gamma_1 = 1.086$$

dan,

$$\ln \gamma_2 = \frac{121.159(1 - 0.2)^2[(16.613 - 14.265)^2 - (2 \times 0.046 \times 16.613 \times 14.265)]}{8.314 \times 308.15}$$

$$\gamma_2 = 3.750$$

Maka,

$$P_{cal} = \sum x_i \gamma_i P_i^{sat}$$

$$P_{cal} = (0.797 \times 1.086 \times 54.089) + (0.203 \times 3.750 \times 2.619)$$

$$= 48.855 \text{ kPa}$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh tekanan uap campuran light naphtha (1) + DEC (2) pada 35°C (308.15 K) sebesar 51.21 kPa. Sehingga didapatkan nilai AD tekanan uap campuran diatas berdasarkan eksperimen dan perhitungan didapat,

$$AD = \left| \frac{48.855 - 51.21}{51.21} \right| \times 100\% = 4.6\%$$

Berdasarkan data ekperimen dan perhitungan diperoleh AAD Persamaan Hildebrand and Scatchard terhadap eksperimen sebesar 4.6%.

## 6. Perhitungan fraksi vapor

Untuk sistem light naphtha (1) + DEC (2) dengan  $v_1=0.8$  dan pada temperature 308.15 K, tekanan sistem hasil perhitungan ( $P_{cal}$ ) dengan menggunakan persamaan Wilson adalah 52.027 kPa dan  $x_1 = 0.797$

$$y_i = x_i \gamma_i P_i^{sat} / \sum x_i \gamma_i P_i^{sat}$$

$$y_i = x_i \gamma_i P_i^{sat} / P_{cal}$$

Dengan  $P_1^{sat} = 54.089 \text{ kPa}$  dan  $\gamma_1 = 1.178$  sehingga :

$$y_1 = \frac{0.797 \times 1.178 \times 54.036}{52.027}$$

$$y_1 = 0.977$$

Nilai fraksi vapor untuk persamaan NRTL dan Hildebrand and Scathard dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di atas.

## 7. Perhitungan Rate Udara Masuk Pembakaran

Contoh perhitungan rate udara masuk pembakaran pada campuran bahan bakar Pertamina + DEC (15%) pada kecepatan mesin 3000 rpm

Didapatkan data  $\Delta P = 30$  Pa,  $\rho$  udara =  $1.17 \text{ kg/m}^3$ ,  $D = 0.0381$

Untuk menghitung kecepatan udara masuk ke dalam mesin ( $v_2$ ) pembakaran digunakan prinsip Bernoulli sebagai berikut:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Untuk sistem dimana titik 1 dan 2 nilai  $v_1$  diasumsikan berada pada dinding pipa sehingga  $v_1 = 0$  maka persamaan ini dapat disederhanakan menjadi:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho (0)^2 + \rho g (h_1 - h_2) = P_2 + \frac{1}{2} \rho (v_2)^2$$

Pada sistem ini juga diasumsikan bahwa  $h_1 = h_2$  dan  $\rho_1 = \rho_2$  sehingga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \rho (v_2)^2$$

$$V_2 = \sqrt{2 \rho \Delta P}$$

$$V_2 = \sqrt{(2 \times 1.17 \times 30)} = 8.378 \text{ m/s}$$

Untuk mendapatkan rate udara masuk pembakaran dapat dihitung dengan mengalikan antara kecepatan udara dan luas penampang pipa udara (silinder) seperti persamaan berikut:

$$Q = v_2 \times A$$

$$Q = v_2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$Q = 8.378 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.0381^2$$

$$Q = 0.009547 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 8. Perhitungan Ketidakpastian

### Ketidakpastian Fraksi Mol

Perhitungan fraksi mol dari massa penimbangan *light naptha* dan dietil karbonat didapatkan dari persamaan :

$$x_1 = \frac{m_1 / BM_1}{m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2}$$

Untuk  $x_1(m_1, m_2)$ , ketidakpastian  $x_1 (\delta x_1)$  diperoleh dari

penurunan parsial fungsi  $x_1$  terhadap  $m_1$  dan  $m_2$ .

$$\delta x_1 = \left| \frac{\partial x_1}{\partial m_1} \right| \delta m_1 + \left| \frac{\partial x_1}{\partial m_2} \right| \delta m_2$$

$$\delta x_1 = \left| \frac{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2) / BM_1 - m_1 / BM_1^2}{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2)^2} \right| \delta m_1 + \left| - \frac{m_1 / BM_1 BM_2}{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2)^2} \right| \delta m_2$$

$$\delta x_1 = \frac{m_2 / BM_1 BM_2}{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2)^2} \delta m_1 + \frac{m_1 / BM_1 BM_2}{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2)^2} \delta m_2$$

$$\delta m_1 = \delta m_2 = \delta m$$

$$\delta x_1 = \frac{m_2 + m_1}{(m_1 / BM_1 + m_2 / BM_2)^2 (BM_1 BM_2)} \delta m$$

Ketidakpastian fraksi mol komponen 2 ( $\delta m_2$ ) diturunkan dari hubungan  $x_2$  dengan  $x_1$ .

$$x_2 = 1 - x_1$$

$$\delta x_2 = \delta(1 - x_1)$$

$$\delta x_2 = |-\delta x_1|$$

$$\delta x_2 = \delta x_1$$

Pada massa penimbangan *light naphta* fraksi 0.496, diketahui

massa penimbangan  $m_1$  66.1412 g dan  $m_2$  39,6424 dengan

keakuratan timbangan  $\delta m = 0.0001$  g.

$$\delta x_1 = \frac{66,1412+39,6424}{\left(\frac{66,1412}{78.4} + \frac{39,6424}{118.13}\right)^2 \times (78,4 \times 118.13)} \times 0.0001$$

$$\delta x_1 = 0.00006 \%$$

$$\frac{\delta x_1}{x_1} = \frac{0.00006}{0.496} = 0.00013\% \quad (\text{relative uncertainty})$$

$$\frac{\delta x_2}{x_2} = \frac{0.00006}{0.504} = 0.00012\% \quad (\text{relative uncertainty})$$

Ketidakpastian fraksi mol komponen 1 ( $\delta x_1$ ) terhadap fraksi mol komponen 1 diperoleh sebesar 0,00013%. Ketidakpastian fraksi mol komponen 2 ( $\delta m_2$ ) terhadap fraksi mol komponen 2 ( $m_2$ ), diperoleh sebesar 0,00012%

### **Ketidakpastian Tekanan**

Tekanan sistem diperoleh dari selisih tekanan lingkungan dengan  $\Delta P$  pembacaan dari manometer.

$$P_{sistem} = P_{lingkungan} - \Delta P$$

$$\delta P_{sistem} = \delta P_{lingkungan} + \delta | -\Delta P |$$

$$\Delta P = \rho \times g \times \Delta h$$

$$\delta(\Delta P) = g \times (\rho \times \delta \Delta h + \delta \rho \times \Delta h)$$

$$\delta P_{sistem} = \delta P_{lingkungan} + g \times (\rho \times \delta \Delta h + \delta \rho \times \Delta h)$$

Untuk sistem *light naptha* + dietil karbonat dengan  $x_1=0.496$  ;  
 $g = 9.80665$  ;  $\rho = 13521.36 \text{ kg/m}^3$

$$\delta \Delta h = 0,0005 \text{ m}$$

$$\delta \rho = 0,015 \text{ kg/m}^3 \text{ (Holman } et al., 1994)$$

$$\text{Ketelitian alat pembacaan} = 0.01 \text{ kPa}$$

$$\Delta h = 487 \text{ mmHg}$$

$$\Delta P_{\text{sistem}} = 0.01 + 9.80665 \times (13521.36 \times 0.0005 + 0.015 \times 0.487)$$

$$\Delta P_{\text{sistem}} = 76,384 \text{ Pa} = 0,076384 \text{ kPa (absolute uncertainty)}$$

$$\frac{\Delta P_{\text{sistem}}}{P_{\text{sistem}}} = \frac{0.076384}{36.29}$$

$$\frac{\Delta P_{\text{sistem}}}{P_{\text{sistem}}} = 0,165725 \% \text{ (relative uncertainty)}$$

### **Ketidakpastiaan Pengukuran Pemakaian Bahan Bakar**

Pengukuran pemakaian bahan bakar didapatkan dengan menggunakan pipet volume yang dihubungkan dengan mesin pengujian. Ketidakpastiaan pipet volume 25 ml merk PYREX adalah  $\pm 0.04 \text{ ml}$ .

$$\text{relative uncertainty} = \frac{0.04 \times 100}{25} = 0.16 \%$$

### **Ketidakpastian Pembacaan Kecepatan Mesin**

Pembacaan kecepatan mesin dilakukan dengan menggunakan speedometer yang telah terpasang pada mesin motor dengan skala 500 RPM. Kecepatan mesin terkecil yang dibaca pada percobaan ini adalah 3000 RPM sehingga perhitungan relative uncertainty dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\text{relative uncertainty} = \frac{500 \times 100\%}{3000} = 16.67 \%$$



### **Ketidakpastian Pengukuran Emisi CO**

Pengukuran emisi karbon monoksida (CO) dilakukan dengan menggunakan gas analyzer Stargas 8000 dengan ketelitian  $\pm 0.01$  % (v/v)

### **Ketidakpastian Pengukuran Emisi Hidrokarbon (HC)**

Pengukuran emisi hidrokarbon bebas (HC) dilakukan dengan menggunakan gas analyzer Stargas 8000 dengan ketelitian  $\pm 1$  ppmv.

## **9. Perhitungan Nilai Bilangan Oktan**

Penentuan nilai bilangan oktan actual dari campuran system light naphtha + DEC dilakukan dengan treatment data bilangan oktan hasil percobaan dengan data bilangan oktan yang diperoleh dari kalibrasi alat menggunakan reference iso-octane murni. Dimana nilai bilangan untuk isooctane murni adalah RON = 100 dan MON = 100. Dari hasil kalibrasi dengan isooctane murni diperoleh nilai RON = 109.9 dan MON = 102.4. sehingga untuk memperoleh nilai bilangan octane actual, nilai bilangan octane hasil percobaan ditreatment dengan persamaan :

$$RON_{act} = RON_{exp} - 9.9$$

$$MON_{act} = MON_{exp} - 2.4$$

Dimana :

$RON_{act}$  : nilai RON sebenarnya

$RON_{exp}$  : nilai RON dari pembacaan alat

$MON_{act}$  : nilai MON sebenarnya

$MON_{exp}$  : nilai MON dari pembacaan alat

Berikut ini merupakan contoh perhitungan nilai bilangan oktan pada variable penambahan DEC sebanyak 30% volume. Dari hasil pembacaan alat diperoleh  $RON = 104.2$  dan  $MON = 87.4$ , sehingga

$$RON_{act} = 87.4 - 9.9 = 94.3$$

$$MON_{act} = 87.4 - 2.4 = 85$$

Hal ini berarti nilai bilangan oktan pada system campuran light naphtha + 30% volume DEC memiliki nilai  $RON = 94.2$  dan  $MON = 85$ .

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN APPENDIKS

### A. Hasil Perhitungan Validasi Komponen Murni Ethanol

Konstanta Antoine	A	B	C
Etanol	5.33675	1648.22	230.918

$T$ (K)	$P_{\text{exp}}$ (kPa)	$\frac{P_{\text{calc}} \text{ (kPa)}}{\text{Persamaan Antoine}}$	% AAD
303.21	10.65	10.51	1.33%
305.72	12.21	12.06	1.28%
308.24	13.87	13.82	0.36%
310.69	15.85	15.75	0.64%
313.19	18.01	17.94	0.41%
315.67	20.49	20.37	0.59%
318.17	23.25	23.10	0.65%
320.73	26.13	26.21	0.32%
323.20	29.19	29.55	1.22%
<b>AAD = 0.76%</b>			

### B. Hasil Perhitungan Validasi Komponen Murni Aseton

Konstanta Antoine	A	B	C
Aseton	4,2184	1197.01	228.06

$T$ (K)	$P_{\text{exp}}$ (kPa)	$\frac{P_{\text{calc}} \text{ (kPa)}}{\text{Persamaan Antoine}}$	% AAD
303.16	37.82	38.03	0.54%
305.67	41.92	42.15	0.53%
308.18	46.29	46.62	0.71%
310.69	51.45	51.47	0.04%
313.19	56.64	56.73	0.15%
315.65	61.81	62.26	0.72%
318.16	67.93	68.37	0.65%
320.73	74.68	75.12	0.58%
323.21	81.46	82.04	0.70%
<b>AAD = 0.51%</b>			

### C. Hasil Perhitungan Validasi Komponen Murni DEC

Konstanta Antoine		A	B	C
DEC		5.883	1223.77	-84.304
$T$ (K)	$P_{\text{exp}}$ (kPa)	$P_{\text{calc}}$ (kPa) Persamaan Antoine		% AAD
303.23	0.64%	0.64%		0.64%
305.66	0.81%	0.81%		0.81%
308.18	0.36%	0.36%		0.36%
310.71	4.19%	4.19%		4.19%
313.22	2.56%	2.56%		2.56%
315.65	0.02%	0.02%		0.02%
318.21	2.13%	2.13%		2.13%
320.71	0.38%	0.38%		0.38%
323.22	2.23%	2.23%		2.23%
AAD = 1.48%				

**D.1 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Wilson pada 303.15 – 308.15 K**

Parameter Wilson											
$\alpha_{12}$	131.505										
$\alpha_{21}$	7745.003										
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	T = 303.15					T = 308.15				
		P <sub>exp</sub>	$\gamma_1$	$\gamma_2$	P <sub>calc</sub>	AAD	P <sub>exp</sub>	$\gamma_1$	$\gamma_2$	P <sub>calc</sub>	AAD
1,000	0,000	44.958	1.000	—	44.958	0.00%	54.090	1,000	—	54.090	0,00%
0,899	0,101	44.071	1.071	4.027	44.082	0.03%	53.309	1.070	3.989	53.063	0.46%
0,797	0,203	42.844	1.180	2.297	43.224	0.89%	51.208	1.178	2.293	52.027	1.60%
0,697	0,303	41.443	1.306	1.693	41.925	1.16%	49.119	1.303	1.691	50.465	2.74%
0,596	0,404	39.645	1.449	1.397	39.963	0.80%	46.911	1.446	1.397	48.112	2.56%
0,496	0,504	36.286	1.611	1.229	37.151	2.38%	44.225	1.607	1.229	44.743	1.17%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	1.976	0.00%	2.620	—	1,000	2.620	0,00%

## D.2 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Wilson pada 313.15 – 318.15 K

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	T = 313.15					T = 318.15				
		P <sub>exp</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	P <sub>calc</sub>	AAD	P <sub>exp</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	P <sub>calc</sub>	AAD
1,000	0,000	63.440	1.000	—	63.440	0.00%	74.910	1,000	—	74.910	0,00%
0,899	0,101	62.120	1.069	3.968	62.342	0.36%	73.458	1.067	3.947	73.685	0.31%
0,797	0,203	60.907	1.176	2.289	61.127	0.36%	72.085	1.174	2.284	72.241	0.22%
0,697	0,303	59.149	1.301	1.690	59.305	0.26%	70.250	1.298	1.688	70.093	0.22%
0,596	0,404	56.788	1.443	1.396	56.564	0.39%	66.943	1.439	1.395	66.871	0.11%
0,496	0,504	52.714	1.603	1.228	52.638	0.14%	61.714	1.599	1.228	62.260	0.88%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	3.532	0.00%	2.620	—	1,000	4.574	0,00%

## E.1 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model NRTL pada 303.15 – 308.15 K

Parameter NRTL											
$b_{12}$	8026.62										
$b_{21}$	-1428.23										
$\alpha$	0.3										
$x_1$	$x_2$	T = 303.15					T = 308.15				
		$P_{exp}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$P_{calc}$	AAD	$P_{exp}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$P_{calc}$	AAD
1,000	0,000	44.958	1,000	—	44.958	0.00%	54.090	1,000	—	54.090	0,00%
0,899	0,101	44.071	1.057	3.979	43.486	1.33%	53.309	1.056	3.931	52.361	1.78%
0,797	0,203	42.844	1.177	2.136	43.069	0.53%	51.208	1.174	2.140	51.766	1.09%
0,697	0,303	41.443	1.323	1.505	42.327	2.13%	49.119	1.317	1.512	50.844	3.51%
0,596	0,404	39.645	1.473	1.233	40.374	1.84%	46.911	1.467	1.239	48.521	3.43%
0,496	0,504	36.286	1.609	1.107	36.980	1.91%	44.225	1.604	1.112	44.507	0.64%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	1.976	0.00%	2.620	—	1,000	2.620	0,00%



## E.2 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model NRTL pada 313.15 – 318.15 K

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	T = 313.15					T = 318.15				
		P <sub>exp</sub>	$\gamma_1$	$\gamma_2$	P <sub>calc</sub>	AAD	P <sub>exp</sub>	$\gamma_1$	$\gamma_2$	P <sub>calc</sub>	AAD
1,000	0,000	63.440	1.054	—	63.440	0.00%	74.910	1,000	—	74.910	0,00%
0,899	0,101	62.120	1.170	3.898	61.504	0.99%	73.458	1.053	3.866	72.679	1.06%
0,797	0,203	60.907	1.312	2.144	60.736	0.28%	72.085	1.167	2.147	71.690	0.55%
0,697	0,303	59.149	1.462	1.519	59.622	0.80%	70.250	1.307	1.526	70.334	0.12%
0,596	0,404	56.788	1.602	1.244	56.934	0.26%	66.943	1.456	1.249	67.192	0.37%
0,496	0,504	52.714	1.054	1.115	52.315	0.76%	61.714	1.594	1.119	61.828	0.19%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	3.532	0.00%	2.620	—	1,000	4.574	0,00%

### F.1 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Hildebrand and Scatchard pada 303.15 – 308.15 K

Parameter Hildebrand and Scatchard

$l_0$	0.078
$\alpha_0$	6050.535
$\alpha_1$	0.796
$\alpha_2$	0.007

$x_1$	$x_2$	T = 303.15					T = 308.15				
		$P_{exp}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$P_{calc}$	AAD	$P_{exp}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$P_{calc}$	AAD
1,000	0,000	44.958	1,000	—	44.958	0.00%	54.090	1,000	—	54.090	0,00%
0,899	0,101	44.071	1.021	5.467	42.354	3.90%	53.309	1.021	5.316	51.034	4.27%
0,797	0,203	42.844	1.088	3.833	40.541	5.37%	51.208	1.086	3.750	48.855	4.60%
0,697	0,303	41.443	1.209	2.801	39.551	4.57%	49.119	1.205	2.754	47.613	3.07%
0,596	0,404	39.645	1.402	2.133	39.288	0.90%	46.911	1.394	2.107	47.200	0.62%
0,496	0,504	36.286	1.697	1.694	39.533	8.95%	44.225	1.682	1.679	47.354	7.08%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	1.976	0.00%	2.620	—	1,000	2.620	0,00%

**F.2 Hasil Perhitungan Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Hildebrand and Scatchard pada 313.15 – 318.15 K**

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	T = 313.15					T = 318.15				
		P <sub>exp</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	P <sub>calc</sub>	AAD	P <sub>exp</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	P <sub>calc</sub>	AAD
1,000	0,000	63.440	1.000	—	63.440	0.00%	74.910	1,000	—	74.910	0,00%
0,899	0,101	62.120	1.021	5.174	60.032	3.36%	73.458	1.021	5.042	71.015	3.33%
0,797	0,203	60.907	1.085	3.671	57.518	5.56%	72.085	1.084	3.596	68.065	5.58%
0,697	0,303	59.149	1.202	2.710	56.018	5.29%	70.250	1.198	2.667	66.236	5.71%
0,596	0,404	56.788	1.387	2.082	55.431	2.39%	66.943	1.380	2.058	65.426	2.27%
0,496	0,504	52.714	1.668	1.665	55.462	5.21%	61.714	1.655	1.652	65.295	5.80%
0,000	1,000	1.976	—	1.000	3.532	0.00%	2.620	—	1,000	4.574	0,00%

**G. Hasil Perhitungan P-x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub> Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Wilson pada 303.15 – 318.15 K;**

$v_1$	$x_1$	$T = 303.15\text{ K}$		$T = 308.15\text{ K}$		$T = 313.15\text{ K}$		$T = 318.15\text{ K}$	
		$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$
1	1,000	44.958	1,00	54.090	1,000	63.440	1,000	74.910	1,000
0.9	0,899	44.083	0.982	53.068	0.980	62.349	0.977	73.692	0.975
0.8	0,797	43.225	0.979	52.028	0.977	61.128	0.973	72.241	0.971
0.7	0,697	41.926	0.976	50.466	0.973	59.306	0.969	70.094	0.967
0.6	0,596	39.963	0.972	48.113	0.969	56.564	0.965	66.872	0.961
0.5	0,496	37.151	0.967	44.744	0.964	52.639	0.958	62.260	0.955
0.4	0,396	33.289	0.960	40.117	0.956	47.248	0.949	55.926	0.944
0.3	0,297	28.144	0.947	33.954	0.942	40.064	0.934	47.487	0.928
0.2	0,198	21.439	0.924	25.924	0.917	30.702	0.905	36.489	0.897
0.1	0,099	12.847	0.861	15.636	0.848	18.707	0.829	22.398	0.815
0	0,000	1.976	0,000	2.620	0,000	3.532	0,00	4.574	0,000

**H. Hasil Perhitungan P-x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub> Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model NRTL pada 303.15 – 318.15 K;**

$v_1$	$x_1$	$T = 303.15\text{ K}$		$T = 308.15\text{ K}$		$T = 313.15\text{ K}$		$T = 318.15\text{ K}$	
		$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$
1	1,000	44.958	1.000	54.090	1,000	63.440	1,000	74.910	1,000
0.9	0,899	43.486	0.982	52.338	0.980	61.477	0.977	72.647	0.975
0.8	0,797	43.071	0.980	51.768	0.978	60.737	0.975	71.691	0.972
0.7	0,697	42.329	0.979	50.845	0.976	59.624	0.973	70.336	0.970
0.6	0,596	40.414	0.976	48.568	0.973	56.989	0.969	67.255	0.966
0.5	0,496	36.980	0.970	44.508	0.967	52.316	0.962	61.829	0.958
0.4	0,396	32.008	0.961	38.618	0.957	45.524	0.951	53.932	0.946
0.3	0,297	25.686	0.945	31.100	0.940	36.822	0.931	43.779	0.925
0.2	0,198	18.328	0.913	22.308	0.905	26.599	0.893	31.799	0.884
0.1	0,099	10.301	0.827	12.669	0.813	15.334	0.792	18.537	0.777
0	0,000	1.976	0,000	2.620	0,000	3.532	0,00	4.574	0,000

**I. Hasil Perhitungan P-x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub> Korelasi untuk Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2) dengan Model Hildebrand and Scatchard pada 303.15 – 318.15 K;**

$v_1$	$x_1$	$T = 303.15\text{ K}$		$T = 308.15\text{ K}$		$T = 313.15\text{ K}$		$T = 318.15\text{ K}$	
		$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$	$P/\text{kPa}$	$y_1$
1	1,000	44.958	1,00	54.090	1,000	63.440	1,000	74.910	1,000
0.9	0,899	42.378	0.974	51.064	0.972	60.022	0.970	71.060	0.967
0.8	0,797	40.599	0.962	48.924	0.959	57.547	0.955	68.162	0.951
0.7	0,697	39.659	0.957	47.740	0.954	56.121	0.949	70.094	0.967
0.6	0,596	39.464	0.957	47.407	0.953	55.636	0.947	66.872	0.961
0.5	0,496	39.800	0.957	47.671	0.953	55.800	0.947	62.260	0.955
0.4	0,396	40.240	0.958	48.022	0.954	56.024	0.947	55.926	0.944
0.3	0,297	39.898	0.958	47.413	0.953	55.102	0.946	47.487	0.928
0.2	0,198	36.890	0.953	43.647	0.948	50.534	0.939	36.489	0.897
0.1	0,099	27.174	0.933	32.055	0.925	37.066	0.912	22.398	0.815
0	0,000	1.976	0,000	2.620	0,000	3.532	0,00	4.574	0,000

**J. Hasil Perhitungan *Uncertainty Error* Tekanan pada Komponen Murni Etanol**

T (K)	Ketelitian (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	27.5	680	13527.5	10.652	0.07643	0.718%
305.65	0.01	28.8	668	13524.31	12.215	0.07641	0.626%
308.15	0.01	28.4	655	13525.29	13.873	0.07642	0.551%
310.65	0.01	28.6	640	13524.8	15.847	0.07641	0.482%
313.15	0.01	28.7	623	13524.56	18.014	0.07641	0.424%
315.65	0.01	29.1	604	13523.58	20.490	0.07640	0.373%
318.15	0.01	29.3	583	13523.09	23.249	0.07639	0.329%
320.65	0.01	29.3	561	13523.09	26.128	0.07639	0.292%
323.15	0.01	29.1	538	13523.58	29.186	0.07639	0.262%

### K. Hasil Perhitungan *Uncertainty Error* Tekanan pada Komponen Murni Aseton

T (K)	Ketelitian (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	29.5	474	13522.60	37.821	0.07638	0.202%
305.65	0.01	29.5	443	13522.60	41.924	0.07637	0.182%
308.15	0.01	29.5	410	13522.60	46.291	0.07637	0.165%
310.65	0.01	29.5	371	13522.60	51.455	0.07636	0.148%
313.15	0.01	29.7	332	13522.11	56.640	0.07635	0.135%
315.65	0.01	29.7	293	13522.11	61.813	0.07635	0.124%
318.15	0.01	29.8	247	13521.86	67.926	0.07634	0.112%
320.65	0.01	29.8	195	13521.86	74.684	0.07633	0.102%
323.15	0.01	30	144	13521.37	81.459	0.07632	0.094%



**L. Hasil Perhitungan *Uncertainty Error* Tekanan pada Komponen Murni DEC**

T (K)	Ketelitian (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	28.5	744	13525.05	1.976	0.07643	3.867%
305.65	0.01	28.6	742	13524.8	2.244	0.07643	3.406%
308.15	0.01	28.5	739	13525.05	2.620	0.07643	2.917%
310.65	0.01	28.5	735	13525.05	3.131	0.07643	2.441%
313.15	0.01	28.7	732	13524.56	3.532	0.07642	2.164%
315.65	0.01	28.6	729	13524.8	3.918	0.07642	1.950%
318.15	0.01	28.7	724	13524.56	4.574	0.07642	1.671%
320.65	0.01	28.8	720	13524.31	5.106	0.07642	1.497%
323.15	0.01	28.9	714	13524.07	5.894	0.07642	1.297%

**M. Hasil Perhitungan *Uncertainty Error* Tekanan pada Sistem *Light Naphtha* (1) + DEC (2)**

$$x_{v1} = 1$$

T (K)	Ketelitian (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg k(g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	28	412	13526.27	46.091	0.07638	0.166%
308.15	0.01	27.8	348	13526.76	54.432	0.07638	0.140%
313.15	0.01	28.3	262	13525.54	65.677	0.07636	0.116%
318.15	0.01	28.7	129	13524.55	83.375	0.07633	0.092%

$$v_1 = 0.9$$

T (K)	Ketelitian (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	29.5	429	13522.6	44.071	0.07637	0.173%
308.15	0.01	29.8	359	13521.86	53.309	0.07635	0.143%
313.15	0.01	30.4	292	13520.72	62.120	0.07634	0.123%
318.15	0.01	30.6	206	13520.22	73.458	0.07632	0.104%

$v_1 = 0.8$							
T (K)	Ketelitan (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	31.4	435	13518.21	42.844	0.07635	0.178%
308.15	0.01	31.4	372	13518.21	51.208	0.07634	0.149%
313.15	0.01	31.2	299	13518.71	60.907	0.07633	0.125%
318.15	0.01	30.8	215	13519.72	72.085	0.07632	0.106%
$v_1 = 0.7$							
T (K)	Ketelitan (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	30.6	447	13520.22	41.443	0.07636	0.184%
308.15	0.01	30.9	389	13519.46	49.119	0.07635	0.155%
313.15	0.01	31	313	13519.21	59.149	0.07634	0.129%
318.15	0.01	31	229	13519.21	70.250	0.07632	0.109%

$v_1 = 0.6$							
T (K)	Ketelitan (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	30.5	461	13520.47	39.645	0.07636	0.193%
308.15	0.01	30.6	406	13520.22	46.911	0.07635	0.163%
313.15	0.01	30.5	331	13520.47	56.788	0.07634	0.134%
318.15	0.01	30.8	254	13519.72	66.943	0.07633	0.114%
$v_1 = 0.5$							
T (K)	Ketelitan (kPa)	T <sub>ambient</sub> (C)	$\Delta H$ (mmHg)	$\rho$ Hg (kg/cm <sup>3</sup> )	$\Delta P_{\text{exp}}$ (kPa)	<i>Absolute Uncertainty</i> (kPa)	<i>Relative Uncertainty</i>
303.15	0.01	29.4	485	13522.84	36.351	0.07638	0.210%
308.15	0.01	29.8	427	13521.86	43.909	0.07636	0.174%
313.15	0.01	28.8	367	13524.31	51.739	0.07637	0.148%
318.15	0.01	29	266	13523.82	65.180	0.07635	0.117%

**N. Hasil Perhitungan *Uncertainty Error* Fraksi Mol Sistem Light Naphtha (1) + DEC (2)**

M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Fraksi Mol		<i>Absolute Uncertainty</i>	<i>Relative Uncertainty</i>	
				x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>		δx <sub>1</sub> /x <sub>1</sub>	δx <sub>2</sub> /x <sub>2</sub>
132.2812	0	1.6873	0	1	0	0.00005%	0.00005%	0.00000%
119.0512	19.3912	1.5185	0.1642	0.898554	0.101446	0.00026%	0.00006%	0.00020%
105.8210	38.7710	1.3498	0.3282	0.797478	0.202522	0.00024%	0.00007%	0.00017%
92.5964	58.1620	1.1811	0.4924	0.696682	0.303318	0.00023%	0.00008%	0.00015%
79.3684	77.5523	1.0124	0.6565	0.596205	0.403795	0.00024%	0.00010%	0.00013%
66.1412	96.9245	0.8436	0.8205	0.496098	0.503902	0.00025%	0.00013%	0.00012%

**O. Hasil Perhitungan Pemakaian udara pada berbagai campuran bahan bakar (m<sup>3</sup>/s)**

Kecepatan Mesin (RPM)	Pertamax	E5	E10	E15	DEC5	DEC10	DEC15	DMC5	DMC10	DMC15
3000	0.0215	0.012	0.012	0.011	0.015	0.012	0.009	0.014	0.011	0.009
4000	0.0324	0.022	0.014	0.022	0.021	0.029	0.021	0.019	0.022	0.019
5000	0.0405	0.030	0.023	0.029	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
6000	0.0735	0.055	0.045	0.041	0.056	0.054	0.057	0.054	0.052	0.046
7000	0.0533	0.036	0.028	0.031	0.039	0.034	0.049	0.033	0.041	0.035
8000	0.0996	0.067	0.068	0.056	0.081	0.072	0.067	0.073	0.070	0.075

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Komang Agus Ravey Gautama lahir pada tanggal 10 Mei 1997 di Kota Singaraja, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan menengahnya di SMP Negeri 2 Banjar dan SMA Negeri Bali Mandara. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis banyak memiliki pengalaman dalam organisasi mahasiswa dan kepanitiaan diantaranya pernah menjadi *steering committee* pada acara Young Engineering and Scientist Summit 2017, Kepala Biro Kajian Strategis HIMATEKK FTI ITS 2016/2017, dan masih banyak pengalaman yang tidak dapat dituliskan semuanya.

Penulis menjalani *internship* di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Pada akhir studinya, penulis memilih Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia untuk pengerjaan tugas akhir. Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain Pabrik *Peusangan-B Natural Gas Processing Plant* dan skripsi yang berjudul Pemanfaatan DEC Sebagai Agen Peningkat Performa Pembakaran Gasoline dan Agen Penurun Tekanan Uap Light Naphtha dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng dan Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T. Apabila ada kritik dan saran tentang penelitian ini, pembaca dapat menghubungi penulis via email: [ravi.gautama97@gmail.com](mailto:ravi.gautama97@gmail.com)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Joy Deryl Lu lahir pada tanggal 25 Maret 1996 di Kota Palembang, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan menengahnya di SMP Xaverius 1 Jambi dan SMA Xaverius 1 Jambi. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Fakultas

Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, sampai dengan terselesaikannya buku ini. Penulis aktif di organisasi Society of Petroleum Engineers dan terlibat aktif dalam forum asia pasifik Young Leaders for Indonesia by McKinsey.

Penulis menjalani *internship* di PT. Semen Tonasa. Pada akhir studinya, penulis memilih Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia untuk pengerjaan tugas akhir. Penulis menyelesaikan tugas Pra-Desain Pabrik *Peusangan-B Natural Gas Processing Plant* dan skripsi yang berjudul Pemanfaatan DEC Sebagai Agen Peningkat Performa Pembakaran Gasoline dan Agen Penurun Tekanan Uap Light Naphtha dibawah bimbingan Prof. Dr. Ir. Gede Wibawa, M.Eng dan Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T. Apabila ada kritik dan saran tentang penelitian ini, pembaca dapat menghubungi penulis via email: [joyderyllu@gmail.com](mailto:joyderyllu@gmail.com)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*